

Anthropogeomorphologische Untersuchungen an der Nürnberger
Altstraße in der südlichen Frankenalb bei Regensburg

—

Bodenkundlich-geomorphologische und geophysikalische Feldstudien zur
Quantifizierung der anthropogen induzierten Landschaftsveränderung

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Philosophischen Fakultät III (Geschichte, Gesellschaft und Geographie)
der Universität Regensburg

vorgelegt von

Niels Krabisch

aus

München

Regensburg

Oktober 2005

Erstgutachter: Prof. Dr. H. Strunk

Zweitgutachter: Prof. Dr. J. Völkel

Vorwort des Verfassers

Die Arbeiten wurden am Lehrstuhl für Physische Geographie des Instituts für Geographie der Universität Regensburg unter Leitung von Herrn Prof. Dr. H. Strunk im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs 462/2 „Paläoökosystemforschung und Geschichte“ (Sprecher: Prof. Dr. J. Völkel) an der Universität Regensburg durchgeführt. Dank der Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft konnten die für diese Arbeit notwendigen Untersuchungen zügig und planmäßig durchgeführt werden.

Zu großem Dank bin ich Herrn Prof. Dr. H. Strunk verpflichtet, der mir das Thema überlassen hat und die Arbeit durch wohlwollende und vielfältige Unterstützung begleitete.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. J. Völkel, dem Sprecher des Graduiertenkollegs bedanken. Nicht nur bezüglich organisatorischer Fragen stand er jederzeit zur Verfügung, sondern gab auch fachlichen Rat und entscheidende Impulse zum Gelingen dieser Dissertation. Ebenfalls sei ihm und Herrn Prof. Dr. K. Heine für die Nutzungsmöglichkeiten des Labors des Lehrstuhls für Physische Geographie bzw. Bodenkunde der Universität Regensburg gedankt.

Herrn Dr. H.-P. Niller, der meine Studien mit Interesse verfolgte, danke ich sehr für die wertvollen und fruchtbaren Diskussionen sowohl im Gelände als auch im Büro, die mir bei der Lösung von einigen offenen Fragen geholfen haben.

Bei der Aufnahme und Auswertung der geophysikalischen Prospektionen hat mich Herr Dipl. Geol. K. Heemskerk dankenswerter Weise unterstützt und Dr. M. Leopold hat die Untersuchungen mit seiner Erfahrung entscheidend bereichert.

Herrn PD Dr. M. Rind danke ich für die hilfreichen Impulse und Diskussionen sowie für die Bereitstellung einer Metallsonde.

Für die fruchtbare und freundschaftliche Zusammenarbeit sowie die konstruktiven Diskussionen bedanke ich mich bei den Graduierten und wünsche ihnen weiterhin alles Gute. Bei Frau Dr. MSc GIS A. Reuther und Herrn Dipl. Geogr. Ch. Geiger bedanke ich mich für die fachlichen Diskussionen und die große Hilfsbereitschaft, die sie mir entgegen gebracht haben.

Ebenfalls möchte ich mich bei den studentischen Hilfskräften G. Blasch, C. Strunk, S. Dötterl und S. Mydlo für die zuverlässige Unterstützung bei den Gelände- und Laborarbeiten bedanken. Weiterer Dank gilt den Teilnehmern der Geländeseminare, welche bei der Anlage der Bodenschürfgruben behilflich waren.

Frau Chemielaborantin T. Heindl danke ich sehr für die Betreuung und Unterstützung in technischen und methodischen Fragen der Laboranalytik.

Ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, die durch ihr Verständnis und die Durchsicht des Manuskripts entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Nicht zuletzt danke ich meiner Lebensgefährtin Barbara, die mich während der ganzen Zeit moralisch unterstützt und motiviert hat.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Struktur der Arbeit	3
2	Untersuchungsgebiet	4
2.1	Lage und Abgrenzung des Untersuchungsgebietes	4
2.2	Geologie und Pedologie	6
2.3	Klima	10
2.4	Hydrologie	12
2.5	Vegetation	13
3	Morphologie und Differenzierung von Hohlwegen und Runsen	16
3.1	Hohlwege	16
3.1.1	Forst- und Holzwege	21
3.1.2	Altstraßen	23
3.2	Runsen	23
4	Methoden	26
4.1	Tachymetrische Geländeaufnahme	26
4.2	Hohlwegkartierung	30
4.3	Bodenkundliche Arbeiten	32
4.3.1	Profilansprache und Probengewinnung	32

4.3.2	Labormethoden	34
4.4	Geophysikalische Prospektion	38
4.4.1	Refraktionsseismik	38
4.4.2	Georadar	43
4.5	Datierungen	47
4.6	Erstellung und Auswertung des Geoinformationssystems	49
4.6.1	Verfahren zur Erstellung der digitalen Geländemodelle	49
4.6.2	Reliefanalyse	53
4.6.3	Bestimmung des Einzugsgebietes der Erosionsmassen	54
4.6.4	Quantitative Erosionsanalyse	55
5	Ergebnisse der physisch-geographischen Arbeiten	58
5.1	Digitale Geländemodelle	58
5.1.1	Modelle des gesamten Untersuchungsgebietes	58
5.1.1.1	Reliefanalyse	65
5.1.1.2	Modellierung des Oberflächenabflusses	67
5.1.1.3	Möglichkeiten und Grenzen der digitalen Reliefanalyse	68
5.1.2	Geländemodell des Schwemmfächers	69
5.2	Karte des Hohlwegsystems	71
5.3	Erosionsbilanzierung	75
5.3.1	Detailuntersuchung an einem Schwemmfächer	75
5.3.1.1	Repräsentative Bodenprofile aus dem Untersuchungsgebiet der Detailstudie	76
5.3.1.2	Refraktionsseismik	89
5.3.1.3	Georadar	96
5.3.1.4	Erosions- und Akkumulationsbeträge	103
5.3.1.5	Modell des Gebietes der Detailstudie und Massenbilanzierung	107
5.3.1.6	Genauigkeit der Bilanzierung der Detailstudie	108
5.3.2	Bodenerosion im gesamten Hohlwegsystem	109

5.3.2.1	Korrelate Sedimente	110
5.3.2.2	Erosionsbeträge der Hohlwegtrassen	114
5.3.2.3	Fehlerquellen bei der Quantifizierung der Hohlwegerosion	115
6	Altstraßenforschung im Untersuchungsgebiet	117
6.1	Allgemeines über Altstraßen und deren Erforschung	117
6.2	Der geschichtliche Hintergrund des Untersuchungsgebietes	121
6.3	Historische Karten des Untersuchungsgebietes	126
6.4	Flussübergänge bei Regensburg	128
6.5	Wegweiser, Feld-, Flur- und Ortsnamen	129
6.6	Die Verkehrsverbindung von Regensburg nach Nürnberg	132
6.7	Synthese von Geoarchiven und historischen Daten sowie Kategorisierung der Hohlwege	136
7	Diskussion der Ergebnisse	139
8	Zusammenfassung	145
9	Literatur	147
10	Dokumentation / Anhang	163

Abbildungsverzeichnis

2.1	Lage des Untersuchungsgebietes	4
2.2	Das Untersuchungsgebiet der geomorphologisch-bodenkundlichen Arbeiten	5
2.3	Der geologische Untergrund des Arbeitsgebietes	6
2.4	Klimadiagramm von Regensburg	10
2.5	Pflanzengesellschaften des Untersuchungsgebietes	14
3.1	Stufenweise Entwicklung (Sukzession) eines Lösshohlweges über mehrere Jahrzehnte; vereinfachte Darstellung.	18
3.2	Hohlwegeintiefung an verschiedenen Reliefpositionen nach HASSLER & HASSLER (1993).	19
3.3	Idealprofile der Hohlwegformen nach DENECKE (1969).	20
4.1	Trigonometrische Grundlagen der Tachymetrie. Quelle: RESNIK & BILL (2000: 162)	27
4.2	Geländeformen nach KAHMEN (1997).	28
4.3	Ausmessen einer Erosionsrinne. Quelle: ROHR et al. (1990)	31
4.4	Generalisierte Darstellung des Geräteaufbaus und der Wellenverläufe so- wie das daraus resultierende Diagramm der Laufzeiten. Quelle: BURGER (1992: 62).	40
4.5	Linearer Zusammenhang zwischen Antennenfrequenz und maximaler Ein- dringtiefe des Georadars. Die Werte für die 400, bzw. 12,5 MHz Antenne wurden extrapoliert.	43
4.6	Spline-Interpolation	51

4.7 Identifikation und Auffüllen abflussloser Senken im digitalen Höhenmodell, nach LUDWIG (2000)	54
5.1 Digitales Geländemodell der Spline-Interpolation der Geländeoberfläche .	59
5.2 Digitales Geländemodell der Inverse Distance Weighted Interpolation der Geländeoberfläche	61
5.3 Digitales Geländemodell der Natural Neighbours - Interpolation der Geländeoberfläche	62
5.4 Dichtekarte der Punkteverteilung	63
5.5 Vergleich der Höhenprofile unterschiedlicher Modelloberflächen	64
5.6 Hangexpositionen des Untersuchungsgebietes	65
5.7 Hangneigungen des Untersuchungsgebietes	66
5.8 Abgrenzung der Stoffeinzugsgebiete	67
5.9 Tachymetrisch vermessene Oberfläche des Schwemmfächers und dessen Einzugsgebiet	70
5.11 Bündelung von Hohlwegen an einer Engstelle	71
5.10 Übersichtskarte des Hohlwegsystems des Untersuchungsgebietes	72
5.12 Wegebündel zwischen Grafenried und Waltenhofen	73
5.13 Verbreitung von Hohlwegen im Zusammenhang mit der Lössverbreitung .	74
5.14 Lage der Profilgruben, Bohrungen, Vergleichscatena, Seismik- und Radarlinien	76
5.15 Vergleichscatena eines ungestörten Profils aus einem benachbarten Tal . .	77
5.16 Profil 6938 Sg1– podsolierte Parabraunerde am Oberhang im Knollensandstein	78
5.17 Bodenanalytische Standardwerte von Profil 6938 Sg1	79
5.18 Korngrößenverteilung von Profil 6938 Sg1	79
5.19 Röntgendiffraktogramme aus dem <i>Ael</i> – Horizont von Profil 6938 Sg1 . .	80
5.20 Röntgendiffraktogramme aus dem <i>Bt</i> – Horizont von Profil 6938 Sg1 . . .	81
5.21 Röntgendiffraktogramme aus dem <i>fBt</i> – Horizont von Profil 6938 Sg1 . .	82
5.22 Profil 6938 Sg2 – Pseudogley - Kolluvisol	84

5.23	Bodenanalytische Standardwerte von Profil 6938 Sg2	85
5.24	Korngrößenverteilung von Profil 6938 Sg2	85
5.25	Röntgendiffraktogramme des Kolluviums <i>M1</i>	86
5.26	Röntgendiffraktogramme des Kolluviums <i>M2</i>	87
5.27	Röntgendiffraktogramme des Kolluviums <i>M3</i>	88
5.28	Lage der Refraktionsseismiklinien	90
5.29	Profil der Seismiklinie Hw - 1 – Auswertung mit RefractSolve; Bodentyp: Parabraunerde	91
5.30	Seismikprofil Sf-1-3m-rs – Auswertung mit RefractSolve	92
5.31	Seismikprofil Sf-1-3m – Auswertung mit ReflexWin	93
5.32	Seismikprofil Sf-1-2m-rs – Auswertung mit RefractSolve	94
5.33	Seismikprofil Sf-1-2m – Auswertung mit ReflexWin	95
5.34	Lage der Radarlinien	97
5.35	Radargramme von Radarlinie Rl 1 – Darstellung und Auswertung mit ReflexWin	101
5.36	Radargramme von Radarlinie Rl 2 – Darstellung und Auswertung mit ReflexWin	102
5.37	Modell des Einzugsgebietes des Schwemmfächers. Darstellung der Geländeoberfläche vor und nach der Hohlwegeintiefung und der damit verbundenen Bodenerosion.	104
5.38	Modell des Schwemmfächerbereiches. Darstellung der Geländeoberfläche vor und nach der Akkumulation des kolluvial verlagerten Sedimentes. . .	106
5.39	Modell der rezenten und der ehemaligen Geländeoberfläche im Bereich des Schwemmfächers und dessen Einzugsgebiet	107
5.40	Bohrungspunkte in den Sedimentzwischenstadien	110
5.41	Profilaufbau im Verzahnungsbereich von Hangkolluvium und Auelehm der Naab	113
5.42	Großbaustelle bei Waltenhofen beim Bau des Bahndammes im Jahre 1871	114

6.1	„Beim Hohen Kreuz“ Steinkreuz zwischen zwei Lärchen an der Straße zwischen Eilsbrunn und Riegling	129
A-1	Werte der „Range“- Statistik der IDW- und der Spline-Oberflächen . . .	163
A-2	Statistische Auswertung für die Spline Interpolation im ArcGIS Geosta- tistical Analyst	164
A-3	Statistische Auswertung für die Inverse Distance Weighted Interpolation im ArcGIS Geostatistical Analyst	165
A-4	Trendanalyse der Ausgangswerte für die Interpolation	166
A-5	Hufeisen; Fundstelle: Auf Schwemmfächer, 5 cm Tiefe	187
A-6	1-Pfennig - Münze aus dem Jahr 1892 ($\varnothing = 1,75$ cm); Fundstelle: Auf Schwemmfächer, 3 cm Tiefe	188
A-7	Sichelmesser; Fundstelle: Auf Schwemmfächer, 30 cm Tiefe = Untergrenze von M1; nahe 6938 RK 8	188

Beilage 1: Ausgewählte, mittelalterlich genutzte Altstraßen, westlich von Regensburg

Tabellenverzeichnis

2.1	Klimadaten von Regensburg; nach MÜLLER-WESTERMEIER (1990) . . .	11
4.1	Kodierung der eingemessenen Punkte	29
4.2	Tabellenstruktur für die Berechnung der Bodenerosion des gesamten Hohl- wegsystems	32
4.3	Feldarbeiten zur Probengewinnung	33
4.4	P-Wellengeschwindigkeiten in unterschiedlichen Medien.	39
4.5	Ersteinsatzzeiten der direkten und der refraktierten Welle.	41
4.6	Vertikale Auflösung und Geschwindigkeit von GPR-Wellen in unterschied- lichen Medien. Dielektrizitätszahlen und vert. Auflösung nach BASSON (1992), Geschwindigkeiten nach DAVIS & ANNAN (1989)	46
4.7	Gerätekonfiguration des Georadars <i>MALA</i> von Geoscience, mit 1000 Volt Sendeleistung	46
5.1	Fehlbeträge im Erosionsgebiet	103
5.2	Schwemmfächermächtigkeit an den Bohrpunkten	105

Verzeichnis der verwendeten Karten

Topographische Karte 1:25.000 (TK 25)

(hrsg. v. Bayerischen Landesvermessungsamt München)

Blätter Nr.: 6938 Laaber, 6938 Regensburg, 7037 Kelheim

Topographische Karte 1:50.000 (TK50)

(hrsg. v. Bayerischen Landesvermessungsamt München)

Blätter Nr.: L6936 Parsberg, L6938 Regensburg

Topographische Karte 1:50.000

(hrsg. v. Bayerischen Landesvermessungsamt München)

Regensburg und Umgebung - mit Wander- und Radwanderwegen

TOP 50 V3 - Amtliche Topographische Karten auf CD-Rom

(hrsg. v. Bayerischen Landesvermessungsamt Bayern)

Geologische Karte 1:25.000

(hrsg. v. Bayerischen Geologischen Landesamt München)

Blätter Nr.: 6937 Laaber, 6938 Regensburg

Geologische Karte 1:500.000

(hrsg. v. Bayerischen Geologischen Landesamt München)

Geologische Karte von Bayern 1:500.000

Bodenkarte 1:25.000

(hrsg. v. Bayerischen Geologischen Landesamt München)

Blatt Nr.: 6938 Regensburg

Ferner: Flurkarten 1:5000 und historische Karten, deren Quellen in den Fußnoten genannt werden

1 Einführung

1.1 Problemstellung

Die vorliegende Arbeit stellt ein Segment der Forschungsarbeiten dar, die im Rahmen des Graduiertenkollegs 462 „Paläoökosystemforschung und Geschichte“ an der Universität Regensburg durchgeführt werden. Das Kolleg hat eine interdisziplinäre Ausrichtung und setzt sich aus Arbeitsgruppen der Vor- und Frühgeschichte, der Klassischen Archäologie, der Botanik und der Geographie zusammen. Durch das Zusammenwirken der einzelnen Disziplinen soll an ausgewählten Standorten in der Umgebung des Hochschulstandortes die Paläoumwelt rekonstruiert werden. Dank der Beteiligung mehrerer Fachgebiete ist es möglich, die jeweiligen Untersuchungsstandorte aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu betrachten, um dadurch ein möglichst umfassendes Bild des Vergangenen zu erhalten. Diese Arbeit konzentriert sich auf ein Landschaftssegment westlich des Stadtgebietes von Regensburg. Hier befindet sich in einem Waldstück ein Hohlwegsystem mit maximalen Trassentiefen von über fünf Metern. Dieser Beitrag widmet sich dem Problem, wann diese Hohlwege entstanden sind und in welchem Maße sich die Erosion auf den Landschaftshaushalt ausgewirkt hat.

Die durchgeführten Studien befassen sich mit der wechselseitigen Beeinflussung von Mensch und Relief. Zu diesem Zweck wird der Begriff „Anthropogeomorphologie“ eingeführt, welcher den Ansatz der anthropogen induzierten Reliefformung um den Einfluss des Reliefs auf die Entscheidungen des Menschen erweitert.

1.2 Zielsetzung

Außer Frage steht, dass im Untersuchungsgebiet eine Landschaftsveränderung stattgefunden hat. Wann jedoch dieser Eingriff in die Natur begonnen hat, über welchen Zeitraum er abgelaufen ist und ob es mehrere Phasen mit unterschiedlicher Intensität gab, soll im Rahmen dieser Dissertation mittels der Auswertung der korrelierten Sedimente sowie durch die Auswertung geschichtlicher Quellen geklärt werden. Hierfür ist es notwendig, die Landschaft modellhaft so zu rekonstruieren, wie sie vor der anthropogenen Nutzung, im vorliegenden Fall einer Nutzung als Straße, ausgesehen hat und dieses Ergebnis dem rezenten Zustand gegenüberzustellen. Mittels einer Kartierung des anthropogen veränderten Reliefs, in erster Linie des über große Teile gut erhaltenen Hohlwegsystems, kann der „Ist - Zustand“ erfasst werden. Zusammen mit zusätzlichen topographischen Informationen kann das Wassereinzugsgebiet und damit auch das Einzugsgebiet der Erosionsmassen ermittelt werden. In einer Detailstudie an einem Schwemmfächer, welcher auf Grund seiner Lage zusammen mit den zugehörigen Erosionsbereichen ein nahezu geschlossenes System bildet, wird eine präzise Massenbilanzierung durchgeführt. Ein wichtiger Aspekt dabei ist zu prüfen, inwiefern durch ein erweitertes Methodenspektrum die Bilanzierung verbessert werden kann.

Durch eine hochgenaue Vermessung mit dem Tachymeter werden die rezente Geländeoberfläche des ausgeräumten Bereiches als auch der Schwemmfächer mit den kolluvial abgelagerten Bodenmassen erfasst. Um die Volumina der Kolluvien zu bestimmen, werden neben Rammkernsondierungen die Refraktionsseismik und das Georadar eingesetzt. Dabei werden mittels der „klassischen“ Methode, die sich auf die Erbohrung von Bodenmaterial und der anschließenden Analyse der Standardwerte, wie Korngrößenzusammensetzung, pH-Gehalt, Carbonatgehalt etc. stützt, die punktuellen Werte ermittelt, welche zur Eichung der weniger erprobten geophysikalischen Methoden dienen. Mit Hilfe der Geophysik sollen die Befunde vom Punkt in die Fläche übertragen werden. Über die rein durch Vermessung erhaltene Volumenbestimmung hinaus wird unter Einbeziehung der jeweiligen Lagerungsdichten auch eine Massenbilanz erstellt. Sofern mehrere Kolluvien differenziert werden können, sind diese einzeln zu betrachten und deren je-

weilige Masse zu berechnen. In einem weiteren Schritt wird das gesamte Hohlwegsystem des Arbeitsgebietes quantitativ kartiert und die Erosionsmasse bestimmt. Ein weiteres Ziel ist die zeitliche Aufschlüsselung der Bodenerosionsereignisse. Die Datierung findet stratigraphisch statt und wird durch Absolutdatierungen sowie dem Abgleich mit historischen Quellen und Befunden ergänzt. Bei der zeitlichen Einordnung der Entstehung der Hohlwege greifen die Erkenntnisse der Geschichte und der Physischen Geographie eng ineinander. So lassen sich durch Auswertung geschichtlicher Quellen verkehrsgeographische Aspekte ableiten und Rückschlüsse auf die Trassenführung ziehen. Andererseits geben die geomorphologisch-bodenkundlichen Arbeiten durch Relativ- und Absolutdatierungen Hinweise auf „aktivere“ bzw. „ruhigere“ Phasen, die dem geschichtlichen Hintergrund eine Gewichtung geben können. Der Abgleich von geschichtlichem und geographischem Wissen führt schließlich zur Datierung der anthropogeomorphologischen Prozesse.

1.3 Struktur der Arbeit

Zunächst wird der Untersuchungsraum im Hinblick auf seine physisch-geographische Ausstattung vorgestellt. Anschließend erfolgt ein differenzierter Blick auf die Genese der untersuchten linearen Erosionsformen. Die Arbeit gliedert sich in zwei Abschnitte.

Der erste Teil umfasst die geomorphologisch-bodenkundlichen Untersuchungen der Hohlwege und Kolluvien im Untersuchungsgebiet. Dabei wird unterschieden zwischen der Detailstudie an einem Schwemmfächer und der Betrachtung des gesamten Hohlwegsystems. In diesem Kapitel werden alle Gelände- und Laborarbeiten sowie die Modellierung im Geographischen Informationssystem behandelt. Auch die Ergebnisse der geophysikalischen Prospektionen sind in diesen Abschnitt eingegliedert.

Der zweite Teil verfolgt historisch-geographische Ansätze, wobei die Altstraßen im Regensburger Raum betrachtet werden. Der Focus liegt hierbei auf den ost-westlich verlaufenden Trassen westlich von Regensburg. Schließlich werden die historisch-geographischen Aspekte mit jenen der Physiogeographie verknüpft, so dass ein zeitlich gegliedertes Bild der Prozesse und geschichtlichen Ereignisse entsteht. Zuletzt werden die Ansätze und Resultate der Arbeit bezüglich ihrer Realitätsnähe und Belastbarkeit diskutiert.

2 Untersuchungsgebiet

2.1 Lage und Abgrenzung des Untersuchungsgebietes

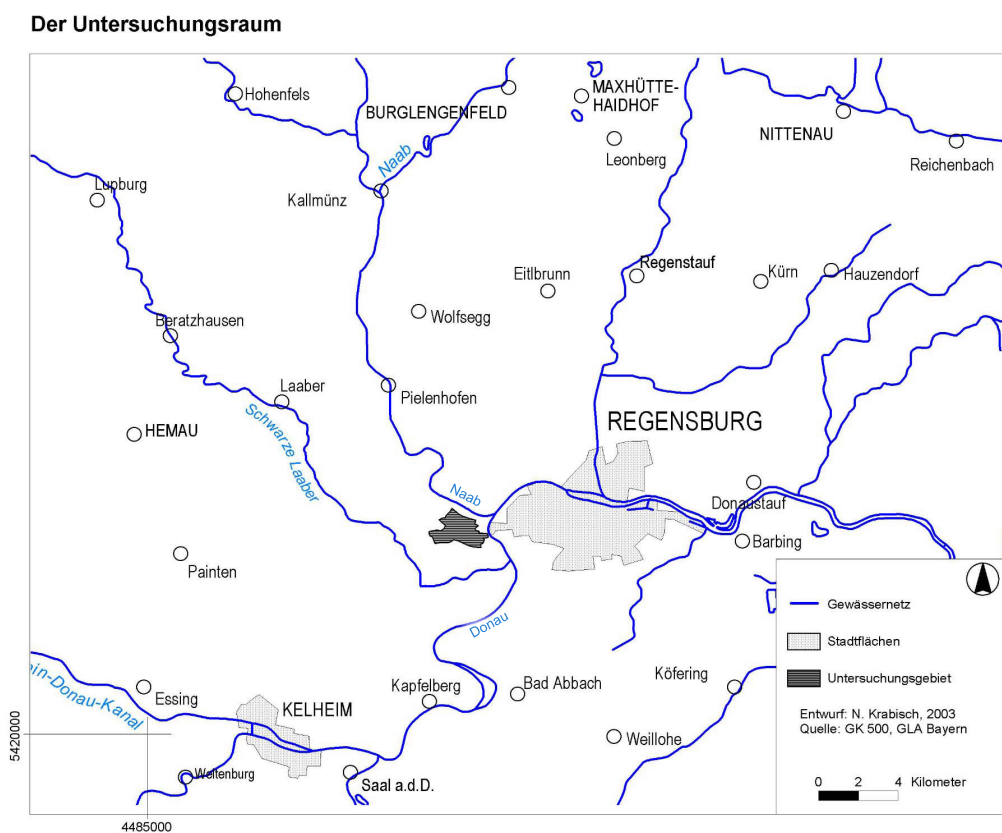


Abbildung 2.1: Lage des Untersuchungsgebietes

Der Untersuchungsraum (vgl. Abbildung 2.1) liegt im südöstlichsten Ausläufer der Frankenalb, zwischen Eilsbrunn und Kleinprüfening, westlich des Stadtgebietes von Regensburg. Das Untersuchungsgebiet wird im Norden durch die Naab, im Osten durch die

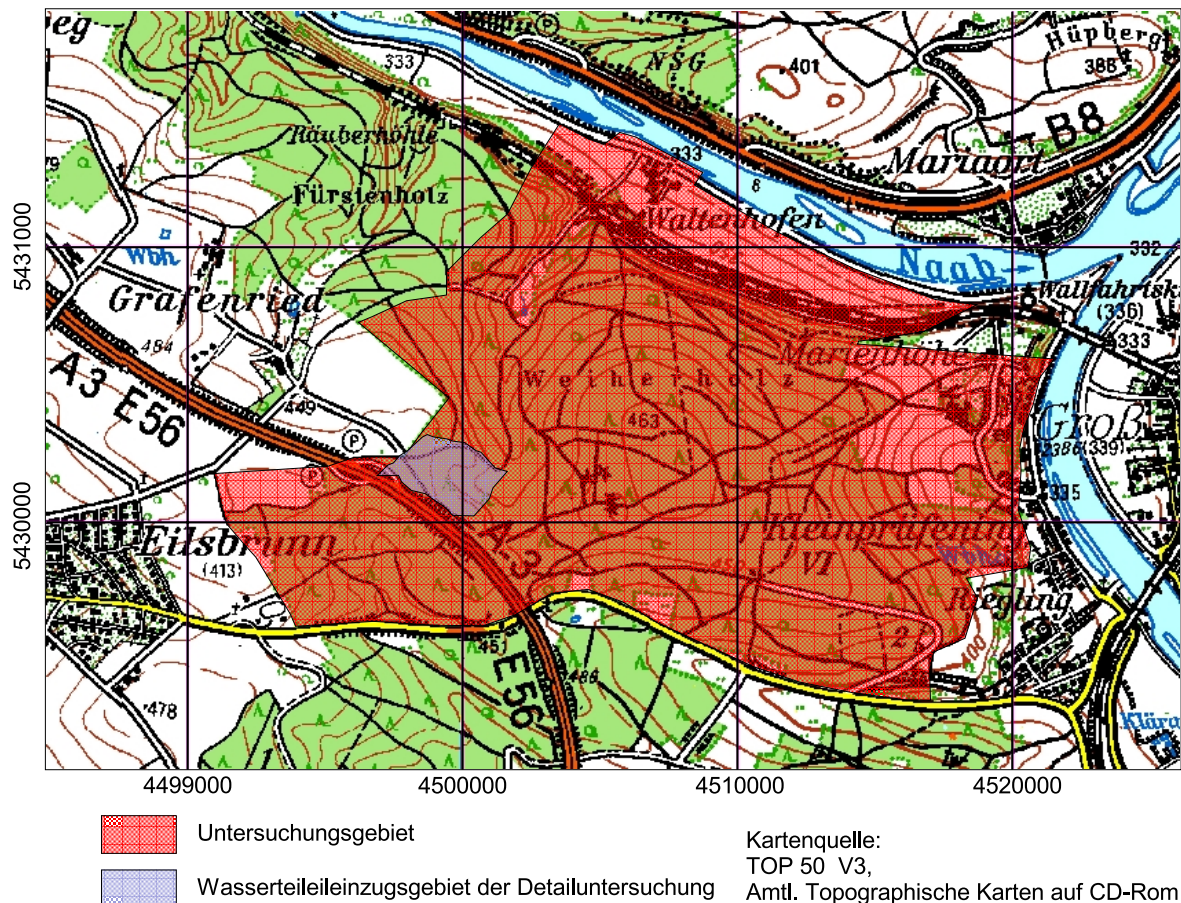


Abbildung 2.2: Das Untersuchungsgebiet der geomorphologisch-bodenkundlichen Arbeiten

Donau und im Süden durch die Verbindungsstraße von Riegling nach Eilsbrunn begrenzt (vgl. Abbildung 2.2). Naab und Donau fungieren dabei als Vorfluter, die genannte Verbindungsstraße markiert eine natürliche Grenzlinie, welche durch eine Tiefenlinie gebildet wird. Die Westgrenze wird nicht präzise vom Gelände nachgezeichnet und verläuft nördlich der Autobahn A3 in etwa entlang eines Rückens, der von der Hochfläche Richtung Naab hinab zieht. Der Rücken ist als Wasserscheide zu betrachten und definiert die Obergrenze des Wassereinzugsgebietes. Dieses Wassereinzugsgebiet bildet auch den Rahmen für die in der Arbeit betrachteten Stofftransporte. Südlich der A3 verläuft die Grenze entlang der Linie Acker-/Waldfläche. Diese Linie wurde gewählt, da unter Waldflächen die Erosionsspuren deutlich erhalten sind, auf den anschließenden Äckern

hingegen sind ältere Nutzungsspuren gänzlich verschwunden und nicht mehr nachweisbar.

Der höchste Geländepunkt des Arbeitsgebietes liegt bei ca. 477 m NN, die Erosionsbasis, die durch die Vorfluter Donau und Naab gegeben ist, liegt bei etwa 333 m NN, was einem maximalen Höhenunterschied von 144 m entspricht.

Wegen der Größe der zu untersuchenden Fläche von etwa 360 Hektar wurde das Untersuchungsgebiet nicht mit gleicher Intensität bearbeitet. Durch eine Feldkartierung wurden die anthropogenen Nutzungsspuren kartiert und darauf basierend die gesamte Hohlwegerosion berechnet. In einer Detailuntersuchung wird ein nahezu geschlossenes, rund acht Hektar großes Wasserteileinzugsgebiet (vgl. Abbildung 2.2) mit genauen Kartierungen, Vermessungen und feldbodenkundlichen Methoden erfasst.

2.2 Geologie und Pedologie

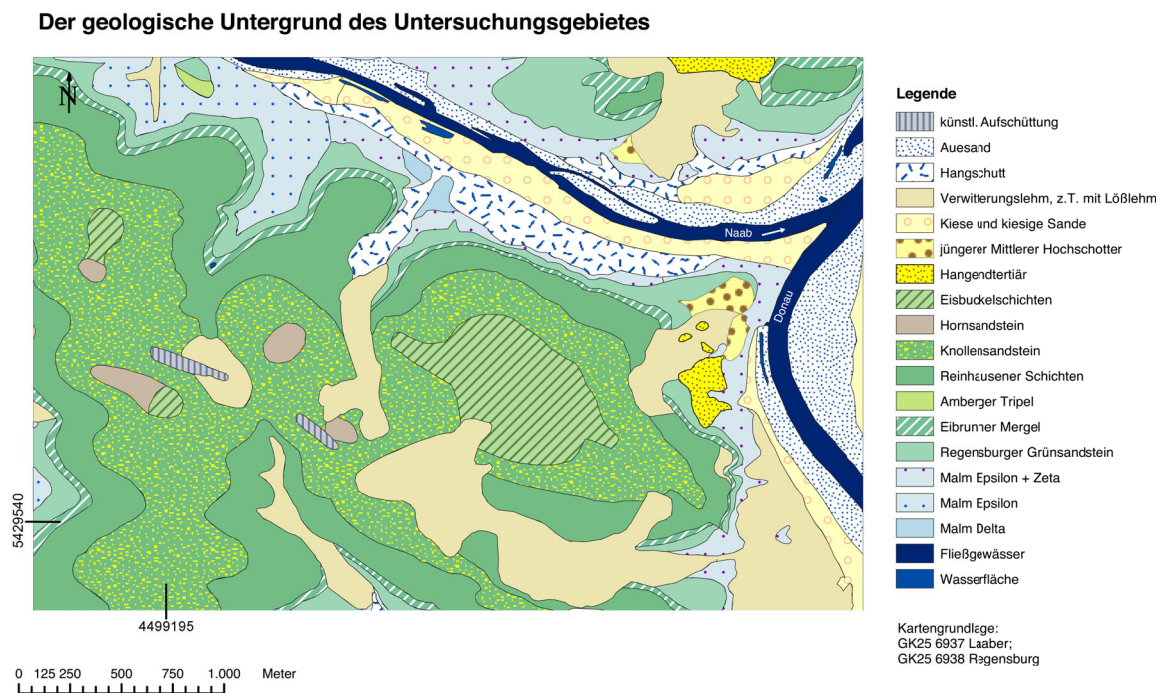


Abbildung 2.3: Der geologische Untergrund des Arbeitsgebietes

Geologisch gesehen befindet sich das Untersuchungsgebiet in der südlichen Frankenalb. Im Anstehenden findet man größtenteils die Danubische, bzw. Regensburger Kreide (vgl. Abbildung 2.3). Hierbei handelt es sich um marine, meist sandige Sedimente (MÜLLER 1961). Im Detail stehen in den höher gelegenen Bereichen in erster Linie Knollensandstein und Reinhausener Schichten, Ablagerungen des Unterturons, an. Darunter streichen in geringer Mächtigkeit der Eibrunner Mergel und aus dem Obercenoman der Regensburger Grünsandstein aus. Weiter hangabwärts trifft man auf jurassischen Malm (Malm $\epsilon + \zeta$, Malm ϵ , Malm δ), der in Richtung der Flüsse Naab und Donau zunehmend von quartären Ablagerungen wie Hangschutt und Flussschottern bedeckt ist. Auf den Hochlagen findet man zudem inselartige Vorkommen von Hornsandstein und in nord- bis nordostexponierten Lagen Löss, bzw. Lösslehm. (vgl. Abbildung 2.3)

Die größten Flächenanteile im Untersuchungsgebiet nehmen der Knollensandstein und die Reinhausener Schichten ein. Außerdem sind große Bereiche von Lösslehm überdeckt. Die Reinhausener Schichten erscheinen an der Oberfläche als mehr oder weniger entkalkte, z.T. poröse, limonitgebänderte Fazies. Das Gestein ist gelblich, gelblichbraun, teilweise auch hellgrau gefärbt. Es wird gekennzeichnet durch regellos verlaufende Bänder aus bräunlichen Eisenausfällungserscheinungen. Im Untersuchungsgebiet tritt als Variation die „Tripelbildung“ auf. Hierbei handelt es sich um ein sehr poröses, weißes, kalkfreies und außerordentlich leichtes Gestein (BAUBERGER et al. 1969: 116). Die Reinhausener Schichten werden beschrieben als ein „schwach sandiges, kalkiges, meist festes Kieselgestein (Spongiolith) bzw. als ein sandarmer Kieselkalk mit zahlreichen, meist mikroskopisch kleinen Schwamm-Nadeln“ (OSCHMANN 1958: 88). In der Regel ist das im trockenen Zustand gelblich-weiße, mit bräunlichen Fällungsflecken durchzogene Gestein glaukonitfrei, bzw. glaukonitarm. Allerdings tritt im Untersuchungsgebiet stellenweise eine glaukonitreiche Fazies, so z.B. um den Gorjhof nordöstlich Eilsbrunn auf (STREIM 1961: 15), wodurch er dem Grünsandstein zum Verwechseln ähnlich wird. Die Abgrenzung sowohl ins Hangende (Knollensandstein), als auch ins Liegende (Eibrunner Mergel) ist unscharf, so dass die Mächtigkeitsangabe zwischen 14 und 20 Metern schwankt

(BAUBERGER et al. 1969: 117ff).

Mit 56 - 83 % ist Montmorillonit das dominierende Mineral der Tonfraktion. Der Illit-Anteil beträgt 17-44 % (SALGER 1965: 234).

Der Knollensandstein besitzt gegenüber den Reinhausener Schichten einen erhöhten Sandgehalt bei einer Vergröberung der Fraktion. Er ist aus mittelfein- bis mittelkörnigen Quarzsanden, selten auch grobkörnigen Fraktionen aufgebaut. Seine Farbgebung reicht von hellgrau, gelblichgrau, gelblichbraun, graugelb bis hin zu grünlichen Tönen. Namensgebend sind die kieselig-kalkigen Knollen, die im Sandstein eingebettet sind. Eingeschaltet finden sich unregelmäßige rostfarbene Bänder und Schlieren sowie sandig-kieselkalkartige Gesteine, wodurch sie faziell den Reinhausener Schichten ähneln. Zum Hangenden (Hornsandstein) bilden sie eine scharfe Grenze. Die Mächtigkeitsangaben von 18 - 20 Meter unterliegen starken Schwankungen (BAUBERGER et al. 1969: 118ff). Auch der Knollensandstein besitzt, z.B. unmittelbar unter dem Hornsandstein am „Weißen Markstein“ eine stark glaukonitische Fazies, die mit einem feinkörnigen Grünsandstein verwechselt werden kann (STREIM 1961: 15).

Die Tonfraktion besteht bis zu 63 % aus Montmorillonit, zu 30 - 100 % aus Illit und 0 - 5 % aus Kaolinit (SALGER 1965: 233).

In Kuppenlage ist im Untersuchungsgebiet Hornsandstein zu finden. Er tritt weißlich-grau, gelbbraun, stellenweise auch grünlich (wenn glaukonitisch) in Erscheinung. Das Gestein verwittert zu Grobsand und losem Feinkies. Durch seine gröberen Komponenten ist diese Fazies deutlich vom Liegenden (Knollensandstein) abgegrenzt (BAUBERGER et al. 1969: 121f).

In der Tonfraktion finden sich 19 - 31 % Montmorillonit, 68 - 78 % Illit und 1 - 2 % Kaolinit (SALGER 1965: 233).

Pedologisch ist das Arbeitsgebiet sehr differenziert gegliedert. Alle vorkommenden Bodentypen können an dieser Stelle nicht im Detail beschrieben werden, daher beschränkt sich der folgende Abschnitt auf die häufigsten Ausprägungen. In den meisten Fällen handelt es sich um Braunerden, Braunerde-Parabraunerden und Parabraunerden verschiedener Ausprägung mit mittlerer bis großer Entwicklungstiefe.

Die Parabraunerden und Braunerden aus Löss sind stellenweise schwach pseudovergleyt. Sie bestehen aus einem lehmig-schluffigen bis schluffig-lehmigen Oberboden und einem tonig-lehmigen Unterboden. Liegen sie benachbart zu Böden aus kreidezeitlichen Feinsandsteinen, kann der *Al*-Horizont deutlich von Feinsand beeinflusst sein. Handelt es sich um Parabraunerden, die sich aus Knollensandstein gebildet haben, bleiben im Profil häufig Steine zurück, die aus zwischengeschalteten Lagen höheren Kalkgehaltes hervorgegangen sind. Bei geringerem Kalkgehalt des Ausgangssubstrates und hohem Sandanteil haben sich sandige, deutlich podsolierte *Ae*- und tonig-sandige *Bt*-Horizonte (20 - 30 % Ton) bei einer insgesamt großen Entwicklungstiefe gebildet. Kalkreicheres Ausgangssubstrat wird mit lehmig-sandigen *Al*- und feinsandig-tonigen bis feinsandig-tonig-lehmigen *Bt*-Horizonten (30 - 40 % Ton) bei geringerer Entwicklungstiefe geprägt.

Parabraunerden, die aus Hornsandstein hervorgegangen sind, können einen höheren Grobsandanteil aufweisen.

In den Bereichen großer Entkalkungstiefe findet man reliktsche Parabraunerden, die unter Wald mehr oder weniger stark podsoliert sind. Tiefgreifende Gesteinsverwitterung und eine Bodenbildung, die sich durch die intensiv braunroten bis gelbroten Farben von den rezenten Böden aus gleichen Substraten unterscheidet, weisen auf ein hohes Alter der Böden hin. Neben Knollensandstein und den Reinhausener Schichten können auch die Eisbuckelschichten als Ausgangsgestein solcher Böden dienen. Die tonig-lehmigen *fBt*-Horizonte sind sehr mächtig und können Entwicklungstiefen von bis zu fünf Metern erreichen. Im Vergleich zu der Rotfärbung der rezenten *Bt*-Horizonte ist die der *fBt*-Horizonte deutlich kräftiger ausgeprägt. Dies deutet auf ein wärmeres Klima bei der Entstehung, wahrscheinlich im Tertiär, hin (WITTMANN 1975). Ein weiteres Merkmal dieser Böden sind die doppelt so hohen Gehalte an Gesamteisen sowie die vielfach höheren Gehalte an Kaolinit im Vergleich zu den rezenten *Bt*-Horizonten.

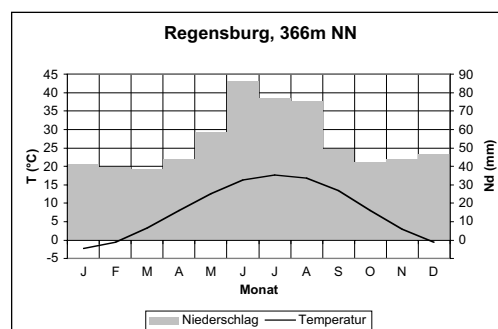
In einigen Bereichen des Untersuchungsgebietes wurden auch von Deckschichten überzogene Terra fusca - Braunerden auskartiert. Als Ausgangsmaterial sind Lösslehm und Flugsande anzunehmen. Die Terra fusca - Braunerde ist als Übergangsform zu den Parabraunerden aus Löss und Lösslehm anzusehen. Die Verwendung des Begriffes Terra fus-

ca ist in der Literatur nicht immer einheitlich und kann regional stark variieren, wie SCHMIDGALL (2004: 13ff) ausführlich diskutiert. Als Grundlage für die vorliegende Bodenkarte (6938 Regensburg, 1:25000) wurde die Definition nach AG Boden (1996) verwendet. Bei sandigen und lehmigen Decken ist eine Tongehaltszunahme im Unterboden festzustellen. Diese ist in erster Linie auf solifluidal-kryoturbate Einmischung von Terra fusca - Material zurückzuführen. War das Decksediment kalkhaltig, ist sicherlich auch Tondurchschlämmung wirksam gewesen (WITTMANN 1975: 22 ff).

In einigen Arealen des Bearbeitungsgebietes wurden die Bodenprofile deutlich anthropogen verändert. So sind in den höheren Lagen, und dort nicht nur in Hangbereichen, verkürzte Profile, in tiefer gelegenen Bereichen, in erster Linie in Senken, aber auch auf Verebnungen, Kolluvien zu finden. Künstliche Aufschüttungen, die im Untersuchungsgebiet in Form von Grabhügeln zu finden sind, bedeuten ebenfalls Veränderungen im Profilaufbau der Böden in den und um die Bauten (WITTMANN 1975: 40).

2.3 Klima

Das Regensburger Stadtgebiet zählt zu den niederschlagsärmsten Gebieten Südbayerns, da es im Regenschatten des Fränkischen Jura liegt. Die Jahresniederschlagsmenge liegt unter 650 mm (vgl. Tabelle 2.1). Das verhältnismäßig kontinentale Klima kommt durch



Datenquelle: MÜLLER-WESTERMEIER 1990

Abbildung 2.4: Klimadiagramm von Regensburg

eine im Mittel 50 Tage bestehende, in schneereichen Wintern sogar bis zu 100 Tagen

Tabelle 2.1: Klimadaten von Regensburg; nach MÜLLER-WESTERMEIER (1990)

Station Regensburg; 49°03' N, 12°06' O; 366m NN					
Messperiode: 1951 - 1980					
	<i>Lufttemperatur (°C)</i>				<i>Niederschlag (mm)</i>
	mittl. Tages- mittel	mittl. tägl. Max.	mittl. tägl. Min.	Zahl Frost- tage	mittl. Nieder- schlagshöhe
Januar	-2,2	0,3	-4,7	26	41,4
Februar	-0,6	2,7	-3,6	21	39,8
März	3,4	8,2	-0,6	16	38,4
April	8,0	13,4	3,0	6	44,1
Mai	12,6	18,1	7,1	1	58,8
Juni	16,3	21,7	10,7		86,5
Juli	17,7	23,3	12,2		76,9
August	16,9	22,8	11,8		75,2
September	13,4	19,2	8,7	0	49,3
Oktober	8,1	12,8	4,3	4	42,2
November	3,0	5,7	0,6	13	44,1
Dezember	-0,6	1,6	-2,9	23	47,0
Jahr	8,0	12,5	3,9	108	643,7

bestehende Schneedecke zum Ausdruck. Diese Werte sind mit jenen der Mittelgebirge oder den Alpen zu vergleichen.

Auch die mittleren Lufttemperaturen spiegeln durch ihre starken jahreszeitlichen Schwankungen diese Kontinentalität wider (vgl. Tabelle 2.1 und Abbildung 2.4). Der Januar als kältester Monat, hat ein Mittel von $-2,2\text{ °C}$, der Juli ist mit einer Durchschnittstemperatur von $17,7\text{ °C}$ der wärmste Monat. Daraus ergibt sich eine Schwankung von $19,9\text{ °C}$. In einer Höhe von ca. 100 m über dem Donautal sind die Werte etwa um $2/3\text{ °C}$ niedriger (v. EIMERN in WITTMANN 1975: 13).

Die Wachstumsperiode (Temperatur $> 5\text{ °C}$) dauert am Standort der Klimastation nach v. EIMERN (WITTMANN 1975: 14 ff) durchschnittlich vom 26. März bis zum 2. November und beträgt im Bereich der Klimastation somit 222 Tage. Da das Untersuchungsge-

biet eine Höhendifferenz von 144 m aufweist, ist dieser Wert als Richtwert zu verstehen. Je nach Höhenlage beträgt die Vegetationsperiode zwischen 220 und 230 Tagen (vgl. BayFORKLIM 1996). Der letzte Frost tritt im Mittel am 18. April, der erste Frost am 23. Oktober auf (v. EIMERN in WITTMANN 1975: 17). Wie in Tabelle 2.1 zu sehen ist, gibt es in Regensburg 108 Frosttage. An 34 Tagen liegt die maximale Temperatur unter 0 °C. In den am höchsten gelegenen Bereichen des Untersuchungsgebietes sinkt die Anzahl der frostfreien Tage auf 180 (BayFORKLIM 1996).

2.4 Hydrologie

Im Untersuchungsgebiet sind als wichtigste Gewässer die Donau und die Naab zu nennen. Sie wirken als Vorfluter und Erosionsbasis für den bearbeiteten Raum. In einer aus dem Weiherholz Richtung Waltenhofen verlaufenden Tiefenlinie ist ein periodisch wasserführendes Gerinne zu finden. Dieses Gerinne schließt unterhalb einer gefassten Quelle an, so dass davon auszugehen ist, dass die Quellschüttung für den Oberflächenabfluss verantwortlich ist. Abgesehen von einem Flotationsteich im Schnittpunkt der Autobahn A3 mit der Landstraße die von Riegling nach Eilsbrunn führt, sind keine weiteren Oberflächengewässer vorhanden.

Das geringe Vorkommen von Oberflächenwasser hängt in gewissem Maße von den in Abschnitt 2.3 beschriebenen geringen Niederschlägen ab. Aber auch der Untergrund spielt für die ober- und unterirdischen hydrologischen Verhältnisse eine Rolle. Hornsandstein, Knollensandstein und die Reinhausener Schichten stellen eine 40 bis 50 Meter mächtige hydropetrographische Einheit dar. Die aus Lösungsverwitterung entstandenen Rückstände weisen eine sekundär entstandene Porosität auf, die so fein ist, dass sie als Speicher und untergeordnet auch für den Wasserdurchsatz von Bedeutung ist. Der sechs bis elf Meter mächtige Eibrunner Mergel erfüllt die Funktion einer Grundwasser-Sohlschicht (BAUBERGER et al. 1969: 254f). An ihn ist auch die oben beschriebene Quelfassung gebunden (MÜLLER 1961: 34). Generell dominieren auf der Fränkischen

Alb typische Karsterscheinungen wie Höhlen, Dolinen, Karren, Trockentäler und abflusslose Hohlformen (KLUG & LANG 1980: 84). In Tiefenlinien und Senken findet man über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt Bereiche mit ausgeprägter Staunässe. Umgekehrtes gilt für Bereiche in Kuppenlage, hier herrschen trockenere Verhältnisse vor. Im Bereich von Hohlwegen, die als Sonderstandorte zu betrachten sind, findet man den Wechsel von trockenen zu feuchteren Standorten auf engstem Raum.

2.5 Vegetation

Als natürliche Waldgesellschaften findet man nach RUBNER & REINHOLD (1953: 73) im untersuchten Gebiet Buchen- und Buchen - Tannenwald (*Fagetum* und *Abieto Fagetum*), Buchen - Tannen - Eichenwald (*Abieto-Fagetum quercetosum*) und auf Kreideüberlagerung Eichen - Birken - Kiefernwald (*Querceto-Betuletum*) vor. Eine Übersicht über die im einzelnen im Untersuchungsgebiet vorliegenden Pflanzengesellschaften hat KILLERMANN (1972) zusammengestellt und beschrieben (vgl. Abbildung 2.5).

Rezent sind auf den kreideüberdeckten ebenen bis welligen Hochflächen überwiegend Fichten-Kiefernbestände und nur kleine naturnähere Mischwaldbestände vorhanden. Diese Standorte sind mäßig trocken bis frisch und besitzen eine spärliche Strauchschicht, die neben Jungwuchs u.a. Holunder (*Sambucus nigra*) aufweist. Die Bodenvegetation ist artenarm, kann aber in lichten Beständen stark deckend sein.

Auf mäßig geneigten Hängen findet man frische bis wechselfeuchte Bodenbedingungen vor, bei pseudovergleyten Böden kann es vorübergehend auch zu Staunässe kommen. Hier dominieren Nadelholzforste, aber auch Mischwaldbestände mit hohem Anteil an Rotbuche und Tanne sind vorhanden. Mit wechselnden Anteilen findet man Fichten (*Picea abies*), Buchen (*Fagus sylvatica*), Tannen (*Abies alba*) und Eichen (*Quercus robur*) vor. Auch hier ist eine schwach ausgeprägte Strauchschicht ausgebildet, in welcher neben Jungwuchs unter anderem der Faulbaum (*Rhamnus frangula*) und die Eberesche (*Sorbus aucuparia*) auftreten.

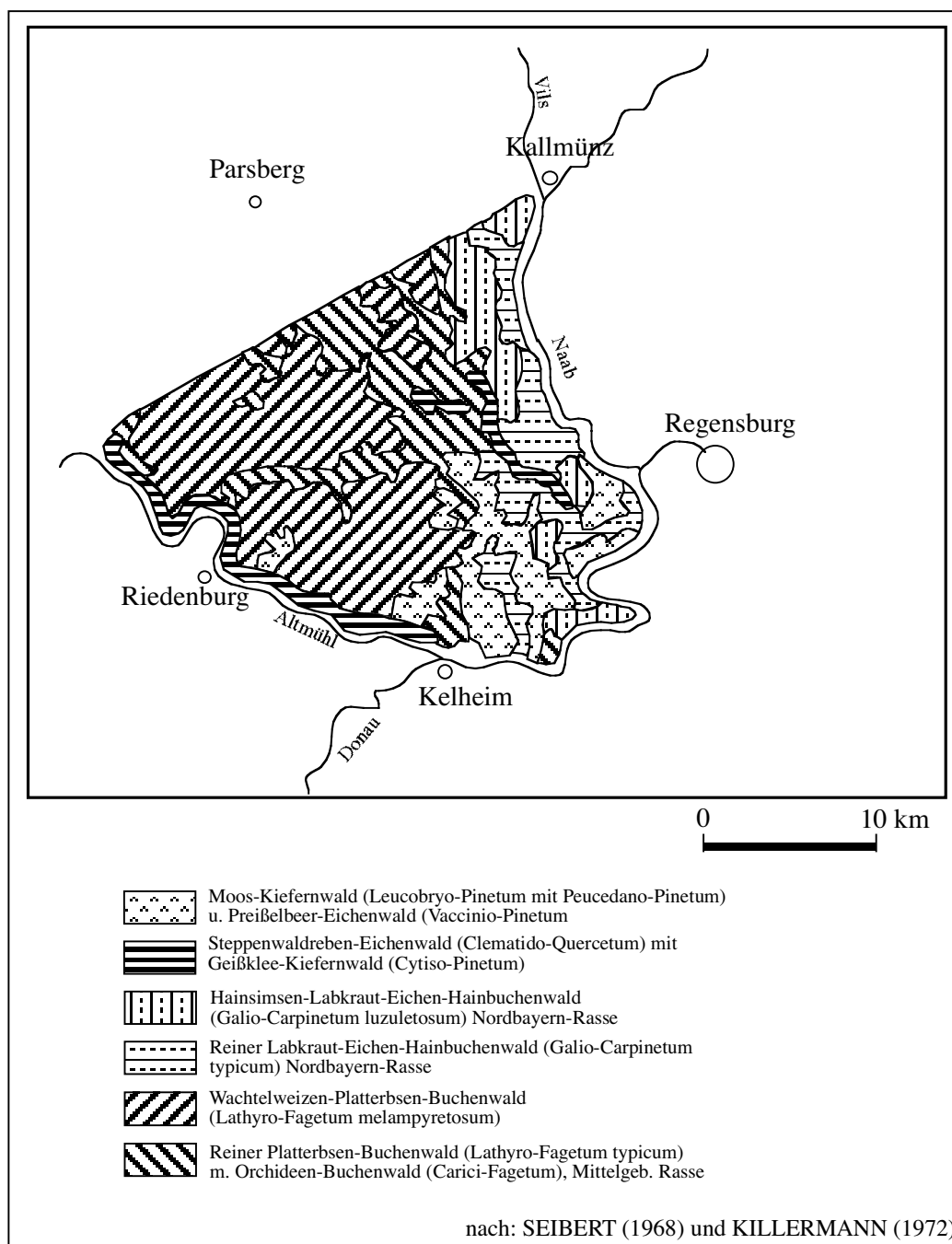


Abbildung 2.5: Pflanzengesellschaften des Untersuchungsgebietes

Im Bereich der steiler geneigten Malmkalke und der Hangschuttdecken ist der Boden in sonnseitigen Bereichen trocken bis mäßig trocken, schattige Bereiche hingegen trocken bis frisch. Die Buche (*Fagus sylvatica*) ist die vorherrschende Baumart, wo-

bei an sonnigen Standorten daneben Eichen (*Quercus robur*, *Quercus petraea*) und Ahorn (*Acer campestre*), an schattigen Standorten Tannen (*Abies alba*) und Ahorn (*Acer pseudoplatanus*) auftreten. Forstlich bedingt sind unter anderem auch Fichten (*Picea abies*) im Bestand zu finden. Während an sonnigen Plätzen eine gut ausgebildete Strauchschicht vorhanden ist, ist sie in schattigen Bereichen nur spärlich ausgeprägt. Die Bodenvegetation ist hier generell sehr artenreich (KILLERMANN 1972).

3 Morphologie und Differenzierung von Hohlwegen und Runsen

3.1 Hohlwege

Durch den reisenden Menschen haben sich im Laufe der Zeit Wege und Straßen gebildet. Sie waren einst nicht befestigt und wurden von Fußgängern, Reitern und Pferde- bzw. Ochsen gespannen genutzt. Diese Verkehrsbahnen waren weitgehend unbefestigte Naturtrassen, die sich durch die Beanspruchung der Wegsohle und damit einsetzende lineare Erosion auch schon bei geringem Gefälle als Hohlwege eintiefen, wie DENECKE (2002) beschreibt.

Der Prozess der Entstehung der Hohlwege lief dabei nicht in Form einer kaum fühlbaren, Jahrhunderte lang andauernden Erosion ab, sondern mit einer ungeheuren Dynamik. Die Räder der Fuhrwerke, Bremsreifen und Bremsschuhe sowie Pferde- und Viehhufe sorgten für eine Auflockerung des Oberbodens, so dass es beim nächsten Gewitterregen zu Abschwemmungen kam und die steilen Seitenwände einstürzten. Nach wiederholtem Ablauf dieses Vorganges wurden schließlich metertiefe Rinnen gebildet (HASSLER & HASSLER 1993: 67).

Hohlwege können vor allem unter dauerhafter Waldnutzung bis heute erhalten geblieben oder sich sogar weiterentwickelt haben. Im Zuge der Flurbereinigung und Ackerlandnutzung sind nach DENECKE (2002) jedoch 80 - 90 % der einstigen im Kleinrelief ausgeprägten Wegespuren in der Kulturlandschaft beseitigt worden. Für die Entstehung eines Hohlweges müssen verschiedene Vorbedingungen gegeben sein:

- geeignete geologische Rahmenbedingungen, wie leicht erodierbare Deckschichten
- geeignete topographische Gegebenheiten, wie z.B. ausreichendes Gefälle
- Gefügestörungen durch mechanische Beanspruchung
- Erosionsdruck durch Wasser und Klima, Pflanzenwurzeln und menschliche Einflüsse

Der Auslöser für die Entstehung der Hohlformen ist nahezu ausschließlich ein viel befahrener oder besonders steiler Weg, der durch die Benutzung eingetieft wurde. Der Mensch gab also die Linie des Hohlweges vor, wobei das Wasser lediglich als Hilfsmittel bei der weiteren Erosion anzusehen ist (HASSLER & HASSLER 1993: 68).

Der Tritt der Tiere und das Rollen der Wagenräder führte einerseits dazu, dass der Untergrund zermahlen wurde, andererseits wurde der Boden durch die schwere Last der Wagen verdichtet. Um die Wagen auf den Abwärtsfahrten zu bremsen, wurden „Rad-schuhe“, kufenartige Eisen an Halteketten, verwendet (HASSLER & HASSLER 1993). Noch heute kann man, wie STRUNK¹ 1996 beobachtet hat, diese Technik in den rumänischen Südkarpaten finden, wo Holzblöcke, Eisenbahnschwellen und meterlange Eisenbahnschienen hinter den Fuhrwerken an Seilen oder Ketten als Bremsen mitgeschleppt werden.

Die unbefestigte Hohlwegsohle wurde durch das ständige Befahren und Bremsen langsam und stetig zu pulverförmigem Staub zermahlen. Dieser Staub bedeckte dann oft bis zu 15 Zentimeter den Boden des Hohlweges. Beim nächsten stärkeren Niederschlag wurde dieses Material ungehindert abgespült. Quantitative Messungen über die Eintiefung von Hohlwegen in einem Lössgebiet ergaben, dass unbefestigte Wege mit größerer Neigung bei starkem Wagenverkehr sich pro Jahr um 8-10 cm erniedrigen können (SCHOTTMÜLLER 1961: 55f).

Um einen Weg für ein Gespann befahrbar zu machen, muss zunächst die höhere, verholzten Vegetation entfernt werden. Durch die Nutzung der so angelegten Trasse wird auch die Krautschicht bereits nach kurzer Zeit beseitigt, so dass der Boden ohne Schutz

¹mündliche Mitteilung

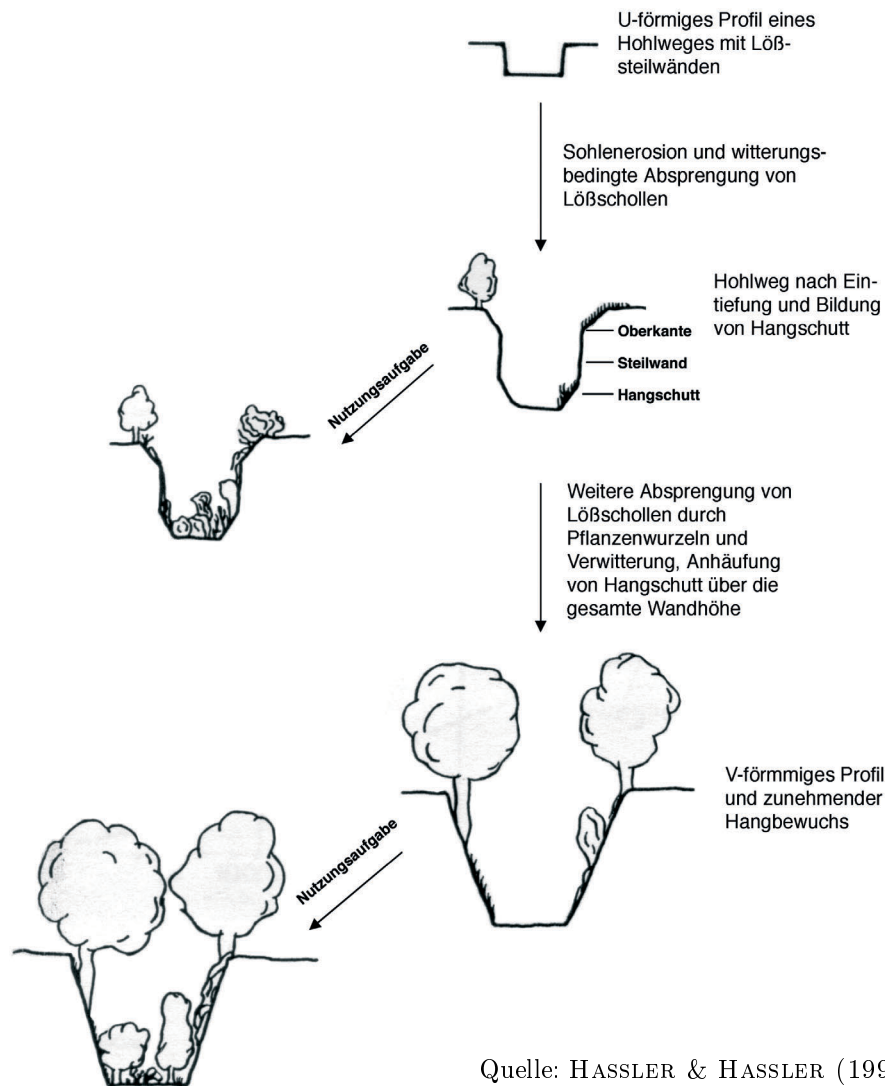


Abbildung 3.1: Stufenweise Entwicklung (Sukzession) eines Lösshohlweges über mehrere Jahrzehnte; vereinfachte Darstellung.

gegen die Erosion verbleibt. Durch die oben geschilderten Prozesse kommt es dann zur Bodenabtragung und Eintiefung der Fahrspur. Zunächst bildet sich ein kastenförmiges Profil mit steilen Seitenwänden. Unter dem Einfluss der Verwitterung und andauernder Nutzung des Weges kommt es zu einer weiteren Tieferlegung der Sohle. Die Böschung der Flanken hält jedoch nur bis zu einer gewissen Höhe Stand, so dass von der Ober-

kante der Hohlform Bodenmaterial abbricht, sich in der Spur sammelt und hangabwärts transportiert wird. Dies hat eine laterale Ausdehnung der Hohlform zur Folge, die wegen der starken mechanischen Beanspruchung durch die Wagenräder und Tierhufe trotz vorhandener Vegetation auf den Böschungen nicht zum Stillstand kommt. Erst nach Aufgabe der Straße kann sich wieder eine Vegetationsschicht bilden, die vor weiterer Bodenerosion Schutz bietet (vgl. Abbildung 3.1). Solange diese Schutzschicht fehlt, wirken neben dem anthropogenen aktiv verursachten Bodenabtrag die Prozesse, die auch bei der Runsenbildung ablaufen. Es kommt zu einer verstärkten Eintiefung des Hohlweges im Oberhangbereich und einem Gefälleausgleich im unteren Teil des Hohlweges. Je nach Relief ist die Hohlwegeintiefung an verschiedenen Hangpositionen unterschiedlich stark ausgeprägt (Abbildung 3.2).

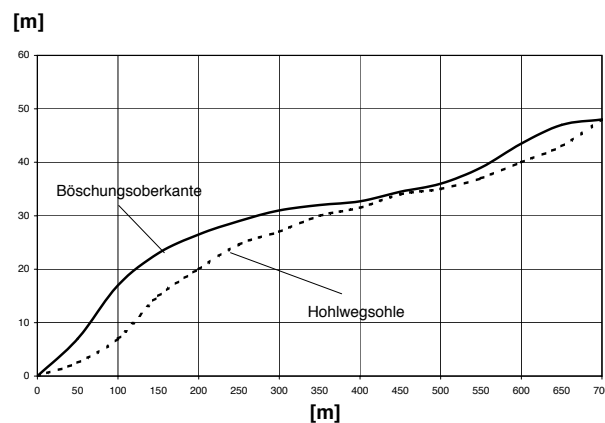


Abbildung 3.2: Hohlwegeintiefung an verschiedenen Reliefpositionen nach HASSLER & HASSLER (1993).

Erosionsmindernd wirken mechanisch widerstandsfähigere Horizonte, die zu einer Stufenbildung in der Hohlwegsohle führen können. Diese Stufen werden im Laufe der Zeit durch rückschreitende Erosion hangaufwärts verlagert (HASSLER & HASSLER 1993). Die Relikte der Hohlwegtrassen befinden sich nach ihrer Aufgabe in einem sehr unterschiedlichen Stadium der morphologischen Ausprägung (vgl. DENECKE 2002). Ein Überblick über die Idealprofile der Hohlwegformen ist in Abbildung 3.3 dargestellt.

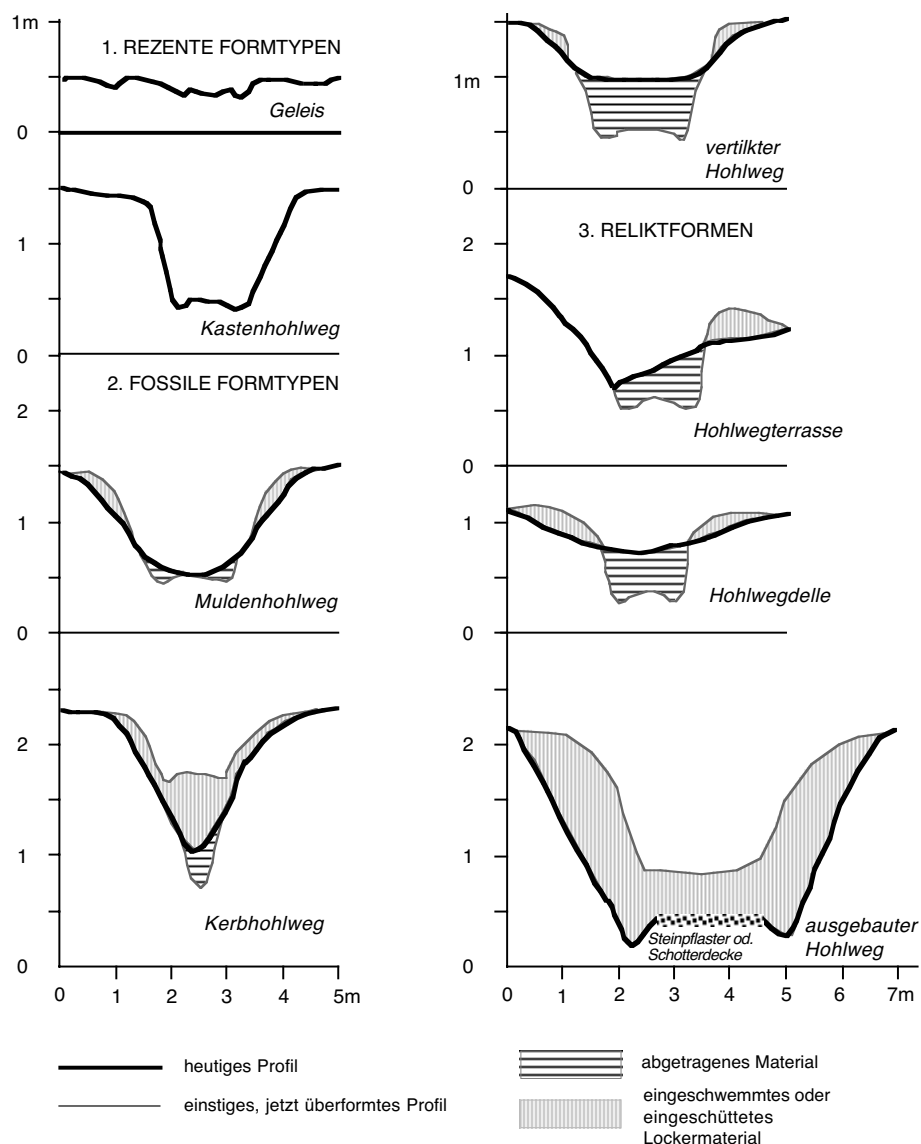


Abbildung 3.3: Idealprofile der Hohlwegformen nach DENECKE (1969).

DENECKE (1969) unterscheidet zwischen „rezenten Formtypen“, „fossilen Formtypen“ und „Reliktformen“. Die rezenten Formtypen treten bei Hohlwegen auf, die heute noch in Gebrauch sind und eine weitere Eintiefung erfahren, falls keine erosionsmindernden Maßnahmen, wie z.B. eine Befestigung der Hohlwegsohle, getroffen werden. Die fossilen Formtypen treten bei verlassenem Hohlwegen auf, sie sind jedoch noch deutlich als ehemalige Fahrstraßen zu erkennen. Reliktformen können entweder durch Erosion oder

durch den Menschen verfüllte Hohlwege sein. Es kann sich auch um einen ehemaligen Hohlweg handeln, der rezent noch in Gebrauch ist, jedoch mit modernen Baumaßnahmen, wie verfestigter Hohlwegsohle und -flanken befestigt ist und nicht mehr auf eine vorindustrielle Straße hindeutet. Es ist nicht zwingend gegeben, dass man von den Formtypen auf ein Alter schließen kann. Der Grad der Verfüllung der Wege hängt von der Geschwindigkeit der Sukzession der Pflanzendecke, der Folgenutzung der Umgebung, dem vorliegenden Bodensubstrat und menschlichen Eingriffen ab.

In der Regel weisen alle im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Hohlwege zumindest abschnittsweise eine deutliche Überprägung durch Runsenbildung in Form von Kerben auf. Im Untersuchungsgebiet sind alle in Abbildung 3.3 – 2. FOSSILE FORMTYPEN dargestellten Ausprägungen vorhanden. Einige Hohlwege sind nur noch als Relikte zu erkennen oder bereits komplett vertilgt, andere sind mit einer deutlichen Kastenform erhalten.

Gleichzeitig haben sich im Untersuchungsgebiet auch Runsen im eigentlichen Sinne gebildet, die morphologisch ähnlich aussehen. Die Unterscheidungsmerkmale werden im Abschnitt 3.2 erläutert.

Bei den Hohlwegen im Untersuchungsgebiet ist gemäß ihrer Nutzung zu unterscheiden zwischen:

→ Forst- und Holzwegen

→ Altwegen, bzw. Altstraßen

3.1.1 Forst- und Holzwege

Forst- und Holzwege sind nach Lage und Ausdehnung bewusst angelegte Trassen. Sie werden von Fachleuten geplant und realisiert, was für die Beteiligten, sei es der Staat oder Privatbesitzer, einen gewissen finanziellen Aufwand bedeutet. Dies hat zur Folge, dass natürliche Gegebenheiten, wie Hangneigung, Bodenbeschaffenheit, hydrologische Verhältnisse etc. den Wegebau stark beeinflussen (WEIGER 1982: 6f), denn nur bei guter Planung ist eine langfristige wirtschaftliche Nutzung der Wege möglich. Im Forstwegebau

lassen sich nach AMMER & LÖFFLER (1982: 12) zwei elementare Ziele beschreiben:

- die Verkürzung der mittleren Entfernung, die im Bestand, d.h. außerhalb von Wegen, zum und vom Arbeitsort zurückzulegen ist (Rücke- bzw. Transportentfernung)
- die dauerhafte Gliederung einer Waldfläche in überschaubare Planungs- und Behandlungseinheiten.

Forstwege sind sowohl im Gelände als auch im Kartenmaterial deutlich zu erkennen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass die Linienführung so gewählt wurde, dass zu große Steigungen vermieden werden. Dies ergibt sich dadurch, dass ein Radschlepper im Sommerbetrieb nur eine maximale Neigung von 20-30 % (MATYÁŠ 1964) überwinden kann, bei nasser und aufgeweichter Fahrbahn erniedrigt sich die Leistung. Vor der Mechanisierung der Landwirtschaft übernahmen Pferde diese Arbeit. Sie konnten nach MATYÁŠ (1964) theoretisch bis zu einem Gefälle von maximal 40 % Neigung das Holz über den Waldboden schleifen, wurden üblicherweise jedoch nur an bis zu 20 % geneigten Hängen eingesetzt. In steilerem Gelände war und ist die Nutzung der Schwerkraft ein geeignetes Verfahren. Dabei müssen allerdings Vorkehrungen getroffen werden, um Schäden am gerückten Holz, dem bleibenden Bestand sowie am Waldboden zu verhindern. Dies kann durch Verlegen mit Holz (Loitenbau) und Konzentration in geeignete Reistzüge oder Erdriesen erreicht werden. Kurze Strecken können auf diese Art einfach und kostengünstiger als mit jeder mechanisierten Rückung überbrückt werden. Bei gut ausgebildeten und überwachten Arbeitern konnte der Wald auf diese Weise ohne größere Schäden genutzt werden. Mit dem Einzug der Maschinen veränderte man die traditionellen Methoden zunächst nicht. Man nutzte die Schlepper als reines Zugmittel und fuhr abseits der Wege durch die Bestände. Dies hatte vor allem beim Einsatz von Raupenschleppern verheerende Schäden zur Folge. Heute dürfen schwere Geräte nur noch die für sie ausgelegten Wege befahren.

Sobald die Wege nicht mehr mit einer schützenden Decke versehen sind, setzt bei Gefälle Erosion ein. Je nach Untergrund sind daher maximale Neigungen nicht zu überschreiten. Für schlecht durchlässige Böden wird eine Neigung der Wege bis zu 9 %, für wasser-

durchlässige, grobkörnige Böden eine Neigung von maximal 12 % empfohlen. Bei Steigungen größer 16 %, bzw. 18 %, je nach Waldboden, sind fortwährende Wegpflege und zusätzliche erosionsmindernde Maßnahmen erforderlich. Bei nachlässiger Waldnutzung kann es, vor allem in steilem Gelände, zu starker linearer Bodenerosion und Eintiefung der Trassen in den Untergrund kommen (MATYÁŠ 1964).

3.1.2 Altstraßen

In der vorliegenden Arbeit, wie auch in der Literatur der Altstraßenforschung, werden die Begriffe Altwege, Altstraßen und Fernwege synonym verwendet (MANSKE 2003: 30). Sie alle umschreiben den gleichen Sachverhalt, und zwar die vorindustriellen Verkehrswege (JÄGER 1993: 39). Unter dem Begriff „Straße“ ist in der Altstraßenforschung nicht wie der heutige Wortverstand oder die Etymologie (lat. *stratum* = Pflaster) erwarten lassen, eine befestigte Fahrbahndecke zu verstehen, sondern eine unbefestigte Verkehrsbahn (JÄGER 1993: 41).

Altstraßen können heute im Gelände als Relikte in Form von Hohlwegen vorliegen, aber auch als ausgebaute Autobahnen oder Bundesstraßen. Ob es sich bei einem Hohlweg um eine Altstraße handelt, ist morphologisch nicht zu erkennen. Umgekehrt muss eine Altstraße keinen Hohlweg ausgebildet haben. Nur unter geeigneten Bedingungen, wie in Kapitel 3.1 dargestellt, hat sich ein Weg in den Untergrund eingetieft. Lediglich durch die Kenntnis der Geschichte lassen sich Altstraßen belegen.

3.2 Runsen

Neben den Hohlwegen gibt es im Untersuchungsgebiet auch Runsen, welche sich nicht durch die Nutzung als Weg gebildet haben. Bei einer Runse handelt es sich um eine kleine, kurze, steilwandige, tälchenartige Rinne, überwiegend mit Kerbprofil, die nach LESER (1997: 721) durch intensive Fluvialerosion von fließendem bis schießendem Wasser gebildet wurde. Vorbedingung für die Entstehung ist nach LOUIS (1979: 106) das Fehlen

oder die Lückenhaftigkeit des Vegetationskleides, wie es vielfach durch rücksichtslose wirtschaftliche Maßnahmen des Menschen hervorgerufen oder verstärkt wird. Dem Begriff der Runse wird in der englischen Literatur der „Gully“ gleichgesetzt (LOUIS 1979: 106).

Die Größenangaben von Runsen bzw. Gullies sind nur vage definiert. Die Länge reicht von fünf bis zu mehreren hundert Metern, die Tiefe kann von einem Meter bis zu mehreren Dekameter variieren. Ihr Erscheinungsbild ist regional sehr unterschiedlich und häufig werden lokale Synonyme verwendet. Außerdem wird die Morphologie stark vom vorliegenden Untergrund, der Vegetation und dem Klima gesteuert. Runsen sind generell dadurch zu erkennen, dass sie steilwandige, V-förmige Kerbtäler bilden und eine steile Anrisskante aufweisen. Die Entstehung der Erosionsrinnen kann sowohl am Oberhang als auch am Mittelhang einsetzen. Sie entwickeln sich in unkonsolidiertem Material wie Kolluvium, Löss, Saprolith oder anthropogenen Aufschüttungen. Im oberen Bereich sind häufig Verzweigungen ausgebildet. Der wirksamste Prozess der Eintiefung und Erweiterung der Hohlform ist das Unterschneiden der Seitenhänge durch fließendes Wasser. Gullies sind allerdings nur zeitweise wasserführend, besonders nach stärkeren oder länger anhaltenden Regenfällen. Auch das Einstürzen der Seitenwände z.B. durch Frosteinwirkung oder Austrocknen und Wiederbefeuchten trägt zur Erosion bei (GOUDI 2004: 503 ff).

Hohlwege und Runsen lassen sich im Geländebefund durch ihre Talform voneinander unterscheiden. Es ist zu bedenken, dass Runsen auch aus Hohlwegen hervorgehen können, wie im Falle des Kerbhohlweges (vgl. Abbildung 3.3), oder Hohlwege z.B. durch rückschreitende Erosion erweitert und überprägt werden können. Im Folgenden sind einige Merkmale aufgelistet, die Hinweise geben, ob die Runse aus einem Hohlweg hervorgegangen ist:

- Runsen können im Gegensatz zu Hohlwegen auch am Mittelhang einsetzen
- Runsen können mäandrieren, während Hohlwege geradlinig verlaufen
- Runsen weisen in ihrem oberen Bereich häufig Verzweigungen, bzw. Verästelungen auf
- Runsen sind an Tiefenlinien gebunden, während Hohlwege auch an Hängen mit konvexer Horizontalwölbung auftreten

4 Methoden

4.1 Tachymetrische Geländeaufnahme

Für Detailstudien muss ein hochauflösendes Modell der rezenten Geländeoberfläche gewonnen werden. Je genauer die rezente Geländeoberfläche dreidimensional erfasst ist, desto geringer wird der Fehler bei der Massenbilanzierung, wie sie im Ansatz in dieser Arbeit berechnet wird. Da die Fernerkundung oder die Verwendung von großmaßstäbigen Karten nicht genügend detaillierte Information lieferten, musste auf eine terrestrische Vermessung zurückgegriffen werden. Die gängigste Methode, die eine ausreichende Lage- und Höhengenaugkeit liefert, ist die Vermessung des Reliefs mit Hilfe der Tachymetrie. Genaue Kenntnisse über die technischen Einzelheiten des Gerätes oder die Hintergründe der Koordinatenberechnung werden bei diesem Verfahren nicht benötigt, da die Arbeitsabläufe weitgehend automatisiert sind. Dennoch ist es sinnvoll, sich mit dem Verfahren auseinanderzusetzen, um mögliche Probleme und Grenzen der Methode zu kennen (RESNIK & BILL 2000: 157ff).

Für die dreidimensionale Erfassung eines Punktes nach dem tachymetrischen Verfahren (Abbildung 4.1), werden die räumlichen Polarkoordinaten (Horizontalwinkel β , Zenitwinkel Z , horizontale Entfernung S) vom Instrumentenstandpunkt aus registriert. Um den Höhenunterschied der Punkte auf das Niveau der Oberfläche zu reduzieren, werden außerdem die Höhe der Kippachse des Gerätes über dem Bodenpunkt i (Instrumentenhöhe) und die Höhe des Reflektors über dem Bodenpunkt t gemessen. Sind die Polarkoordinaten des Punktes 1 (Abbildung 4.1, oben) in der Form von horizontaler Strecke S_{A1} und Horizontalwinkel β_1 bekannt, so lassen sich auch seine kartesischen Koordinaten

berechnen. Von der Höhe des Punktes A kann außerdem die Höhe des Punktes 1 trigonometrisch bestimmt werden. Die Grundgleichungen der tachymetrischen Aufnahme lauten allgemein:

$$X_1 = X_A + S_{A1} \cos(t_{AB} + \beta_1)$$

$$Y_1 = Y_A + S_{A1} \sin(t_{AB} + \beta_1)$$

$$H_1 = H_A + S_{A1} \cot(Z_1) + i - t$$

(RESNIK & BILL 2000: 162)

Um Koordinaten berechnen zu können, muss ein Koordinatensystem definiert werden. Damit für die Kontrolle im Gelände unkomfortable Gauß - Krüger Koordinaten vermieden werden, wird in dieser Arbeit ein Anfangspunkt mit den Koordinaten $X = 1000, Y = 1000, z = 100$ gewählt. Von diesem Punkt wird mit dem Kompass in exakt

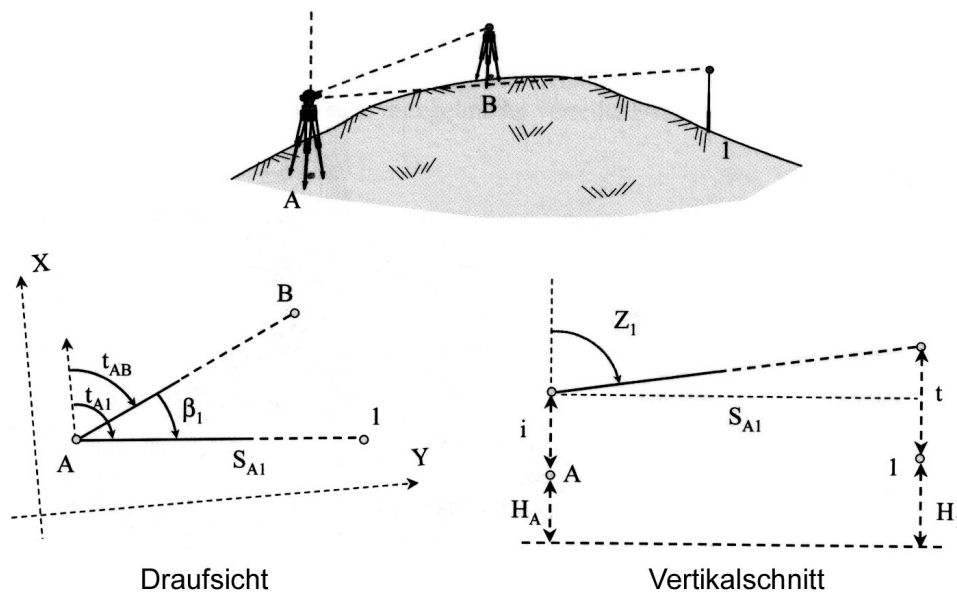


Abbildung 4.1: Trigonometrische Grundlagen der Tachymetrie. Quelle: RESNIK & BILL (2000: 162)

nördlicher Richtung ein zweiter Fixpunkt bestimmt. Da das Gebiet im Wald liegt, musste das Vermessungsgerät häufig versetzt werden. Um dies zu erleichtern, war ein Netz von zusätzlichen Fixpunkten zur Geräteorientierung zu spannen. Alle Orientierungspunkte wurden mit Vermarkungsmaterial im Boden gekennzeichnet, damit sie über den gesamten Zeitraum der laufenden Arbeiten zur Verfügung standen. Ausgehend von dem Netz der Fixpunkte konnte das Relief, wie im folgenden beschrieben, aufgenommen werden:

Es gibt zwei Verfahren zur Auswahl der Messpunkte. Bei einem Verfahren wird ein Punktraster mit festem Gitterabstand über das zu vermessende Gebiet gelegt und gemessen. Dies hat den Vorteil, dass eine gleichmäßige Punktverteilung zur Oberflächenberechnung vorliegt. Allerdings werden bei diesem Ansatz viele Details der Geländeoberfläche nicht berücksichtigt und fehlen anschließend im digitalen Höhenmodell. Bessere Ergebnisse erzielt man, wenn man die Auswahl der Messpunkte dem Gelände anpasst. Dies bedeutet, dass man Geländestrukturen wie Tiefenlinien, Rücken, Dellen oder Kuppen erfasst, in dem man entlang der Strukturen die Messpunkte verteilt. Als Folge ergibt sich eine un-

gleichmäßige Punkteverteilung, wobei in stark wechselndem Relief eine höhere Anzahl an Punkten, in „ruhigeren“ Bereichen weniger Punkte vorliegen. Nachdem man sich einen Gesamtüberblick über das Gelände verschafft hat, erfasst man zunächst die charakteristischen Formen (vgl. Abbildung 4.2). Im ersten Schritt werden die Wölbungslinien, das sind Rückenlinien, Muldenlinien und Kantenlinien, erfasst. Außerdem werden die Kessel sowie die Kuppen aufgenommen. Mit Formlinien werden ungefähr höhenlinienparallel die Ausprägungen der Rücken und Mulden gekennzeichnet.

In weiteren Schritten werden zunehmend kleinere Formen auf die gleiche Weise er-

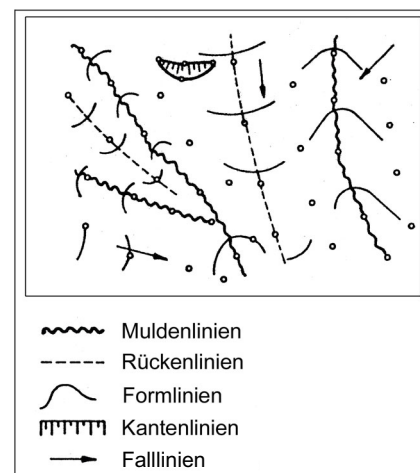


Abbildung 4.2: Geländeformen

nach KAHMEN
(1997).

fasst. Die Punktedichte richtet sich nach dem Maßstab. Annäherungsweise kann man bei einem Maßstab von 1:5000 von einem 45 m - Punkteabstand und somit ca. 500 Punkten / km² ausgehen, im Maßstab von 1:1000 von einem 20 m - Punktabstand und 2500 Punkten / km² (KAHMEN 1997: 507ff).

Hat man im zu vermessenden Gebiet größere unreliefierte Bereiche, empfiehlt es sich, hier einige Punkte in Form eines Rasters zu setzen, da diese Bereiche sonst später bei der Berechnung der Geländeoberfläche je nach verwendetem Interpolationsverfahren zu Problemen führen können.

Für die in dieser Arbeit durchgeführten tachymetrischen Vermessungsarbeiten wird das Tachymeter TC 600 der Firma *Leica* in Kombination mit einem Feldrechner und der Software LISCAD Plus, ebenfalls von *Leica*, eingesetzt. Diese Kombination ermöglicht eine Kontrolle der Vermessung bereits im Gelände. Bei insgesamt über 3000 aufgenommenen Punkten, auf einer Fläche von etwa zehn Hektar, ist es unerlässlich, die Daten bereits im Feld zu kontrollieren. Neben den x - (Rechtswert), y - (Hochwert), und z - (Höhenwert) Werten, werden weitere Attribute wie in Tabelle 4.1 aufgelistet vergeben.

Tabelle 4.1: Kodierung der eingemessenen Punkte

Name (Kodierung)	Verwendungszweck	Anzahl
Fixpunkt	mit Vermarkungsmaterial gesetzter Fixpunkt zur Geräteorientierung	20
Fix_Temp	nicht dauerhaft vermarkter Fixpunkt zur Geräteorientierung	30
Relief	Reliefpunkt	3001
TP_Amt	Trigonometrischer Punkt für die Georeferenzierung	1
Strasse	Kontrollpunkte an einer Straße für die Georeferenzierung	16
Gitter	Grenzsteine als Kontrollpunkte für die Georeferenzierung	8
Passpu	markante Geländepunkte als Kontrollpunkte für die Georeferenzierung	9

Zur weiteren Verarbeitung werden die Tachymeterdaten aus der Vermessungssoftware exportiert und in ein Geoinformationssystem (GIS) überführt. Die millimetergenauen Vermessungsdaten werden für die GIS - Anwendungen auf Zentimeter gerundet und mit der jeweiligen Kodierung verknüpft, damit sie für ihren Verwendungszweck zur

Verfügung stehen. Mit Hilfe des eingemessenen Trigonometrischen Punktes (TP) werden die gemessenen Koordinaten auf das Gauß-Krüger-Koordinatensystem georeferenziert. Zur Kontrolle der Georeferenzierung wird die Übereinstimmung von über 30 speziellen Messpunkten (siehe Tabelle 4.1) anhand georeferenzierter topographischer Karten und Flurkarten überprüft.

4.2 Hohlwegkartierung

Bei der Hohlwegkartierung sind alle linearen Hohlformen zu kartieren, die morphologisch auf eine Nutzung als Weg zurückzuführen sein könnten. Zu beachten sind hier die Merkmale, wie sie in Kapitel 3 erläutert wurden. Nicht immer kann auf den ersten Blick erkannt werden, ob es sich ausschließlich um Runsenerosion handelt, oder ob es sich initial um einen Weg, bzw. Hohlweg gehandelt hat. Im Zweifel werden die Formen mit in die Geländekarte eingetragen, um die Genese später aus dem Kontext klären zu können. In einigen Fällen ist es heute nicht mehr möglich zu entscheiden, welches der initiale Prozess war.

Ziel der Arbeit ist zum einen die Kartierung des gesamten Hohlwegsystems im Untersuchungsgebiet, zum anderen sollen auch Aussagen über das Ausmaß der Erosion in den Hohlwegen getroffen werden. Hierfür werden die Hohlwege mit Kompass und Karte bezüglich ihrer Lage kartiert und mit dem Maßband sowohl in ihrer Breite als auch in ihrer Tiefe quantitativ erfasst. Bei der Aufnahme der Erosionsrinnen wurde nach dem Schema vorgegangen, wie es ROHR et al. (1990) in ihrer Kartieranleitung zur Aufnahme von Bodenerosionsformen vorschlagen:

Man misst mit einem Maßband an einem charakteristischen Querschnitt der Erosionsrinne, wie in Abbildung 4.3 dargestellt, die mittlere Breite (mB) und mittlere Tiefe (mT). Durch Multiplikation der beiden Werte erhält man die Querschnittsfläche, die multipliziert mit der Länge (l) das Volumen (V) ergibt ($V = mB \cdot mT \cdot l$).

Als Kartiergrundlage wurden Flurkarten im Maßstab 1:5000 verwendet. Dies bedeutet,

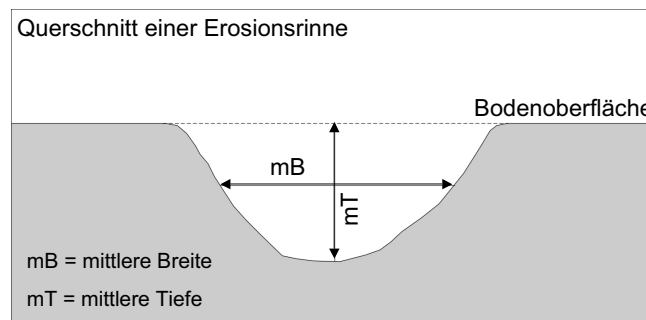


Abbildung 4.3: Ausmessen einer Erosionsrinne. Quelle: ROHR et al. (1990)

dass Formen, die kleiner als fünf Meter sind, wegen der Strichstärke der Stifte nicht mehr exakt in ihrer Form erfasst werden können. Daher wird bei der Kartierung nur der Verlauf in die Feldkarte eingetragen und die jeweiligen Hohlwegabschnitte werden nummeriert. Die Parameter Länge (l), Breite (mB), Tiefe (mT), Azimuth (Gradangabe), welche für die quantitative Auswertung nötig sind, werden im Feldbuch aufgezeichnet. Im Geoinformationssystem sind die Hohlwegabschnitte mit ihren Attributen verknüpft, so dass sie für Berechnungen bereit stehen. Da im Kartierungsgebiet häufig keine verzeichneten Wege, Grenzsteine oder ähnliches als Anhaltspunkte vorhanden sind, werden zahlreiche Punkte mit einem GPS-Empfänger aufgenommen. Wegen der Abschattung durch den Wald erzielt das GPS-Gerät nicht flächendeckend eine akzeptable Lagegenauigkeit und kann deshalb die Feldkarte nicht ersetzen.

Am Computer wird der Geländebefund digitalisiert und kartographisch dargestellt. Dabei werden die Linien nicht von der Geländekarte digitalisiert, sondern vom Startpunkt eines Hohlweges durch die Längen- und Winkelangaben aus dem Feldbuch rekonstruiert. Dieser Arbeitsschritt ist mit der Extension *Azimuth* im Softwarepaket *ArcView 3.2* möglich. Die im Gelände angefertigte Karte, bzw. die Detailskizzen aus dem Feldbuch dienen dabei der Kontrolle. Für die GIS-Auswertung liegen die Daten der Hohlwegkartierung in der Struktur, wie in Tabelle 4.2 dargestellt, vor. Die Tabelleneinträge der Felder **Tiefe** (= mittlere Tiefe); **Breite**; **Breite/2** (= mittlere Breite); **Laenge** enthalten die Daten der Kartierung. Durch Multiplikation der Werte aus **Tiefe**, **Breite/2** und **Laenge** ergeben sich die Einträge im Feld **Volumen**. Im Feld

Tabelle 4.2: Tabellenstruktur für die Berechnung der Bodenerosion des gesamten Hohlwegsystems

Shape	Tiefe	Breite	Breite/2	Laenge	Volumen	Faktor
-------	-------	--------	----------	--------	---------	--------

Faktor wird der Zusammenhang von Hohlwegbreite und Hohlwegtiefe beschrieben, indem **Breite** durch **Tiefe** dividiert wird.

4.3 Bodenkundliche Arbeiten

Unter den bodenkundlichen Arbeiten sind Profilsprache, Probengewinnung und die Laborauswertung zusammengefasst.

4.3.1 Profilsprache und Probengewinnung

Die Ansprache der Bodenprofile im Feld erfolgte nach der „Bodenkundlichen Kartieranleitung“ der AG BODEN (1996). Ein wichtiger Aspekt der vorliegenden Arbeit ist die Abgrenzung von Kolluvien. In der bodenkundlichen Kartieranleitung erfolgt die Charakterisierung der Kolluvien auf Basis der Korngrößenverteilung im Bezug zum Gehalt an organischer Masse. Der in der Kartieranleitung angegebene Gehalt an organischer Masse trifft jedoch nach VÖLKELE & RAAB (1999) vor allem dann nicht zu, wenn bei der Erosion auch die Unterböden erfasst wurden. Für die sichere Ausweisung von Kolluvien sind weitere Bodenmerkmale zur Abgrenzung kolluvialer Sedimente nötig. Für diese Arbeit werden die Merkmale aus dem durch LEOPOLD (2003) erweiterten Kriterienkatalog von VÖLKELE & RAAB (1999) verwendet:

- Stratigraphische Position über begraben in situ - Horizonten
- Artefakte (Scherben, Abschlüge, etc.)
- Makroreste (Knochen, Holzkohle, etc.)
- Lagerungsdichte

- Hydrophobiemerkmale (z.B. Bleichbahnen, Anreicherungen / Ausfällungen von Metalloxiden)
- Textur entspricht meist der des erodierten Sediments (Tonverarmung häufig zu beobachten)
- erhaltene Gefügemerkmale (Polyeder mit Toncutanen) der erodierten Böden
- deutlicher Farbwechsel zum fossilen Horizont
- mikromorphologisch erkennbare Transportspuren (Abrundung) von Fe-Mn - Konkretionen
- mikromorphologisch erkennbare Tonanreicherung in Poren entgegen der aktuell vertikalen Richtung der Pedodynamik
- mikromorphologisch erkennbare Tonaggregate als Relikt eines erodierten, im Gefügekontext transportierten und abgelagerten Bt-Horizontrestes

Nicht jedes der oben aufgelisteten Kriterien muss an jedem kolluvialen Sediment nachgewiesen werden, um ein Kolluvium auszuweisen (LEOPOLD 2003: 42).

Die Bodenprofile und Bodenproben wurden durch die in Tabelle 4.3 aufgelisteten Methoden gewonnen. Pürckhauer- und Peilstangensondierungen sind nicht zur Probenentnahme geeignet und dienen nur zur Profilansprache und Horizontabgrenzung. Die anderen in Tabelle 4.3 aufgelisteten Arbeiten ermöglichen neben der Profilansprache auch eine Probengewinnung.

Tabelle 4.3: Feldarbeiten zur Probengewinnung

Methode	max. Tiefe
Pürckhauersondierung	1,5 m
Peilstangensondierung	3 m
Rammkernsondierung	6 m
Bohrung mit Edelmannbohrer	5 m
Anlage von Profilgruben	1,8 m

Aus den Rammkernsondierungen wurden horizontweise Proben entnommen, bei Horizonten größer 30 Zentimeter zusätzlich in Zehnzentimeterschritten. Die mit dem Edelmannbohrer gewonnenen Bohrkern, die jeweils etwa 10-15 cm umfassen, wurden kom-

plett als Einzelproben verpackt. Aus Profilgruben wurden horizontweise und je Horizont zusätzlich in zehn Zentimeterschritten Bodenproben entnommen. Aus zwei Profilgruben wurden zusätzlich ungestörte Stechzylinderproben zur Bestimmung der Lagerungsdichte gezogen. Die Probenabstände betrugen zehn Zentimeter, wobei Horizontgrenzen nicht in Form einer Mischprobe beprobt wurden.

Die bodenkundlichen Befunde wurden als Punktinformation in einem Geoinformationssystem gespeichert. Neben der Lage und Art der Profilgewinnung (Bohrung, Profilgrube etc.) wurden auch die Horizontbezeichnungen und -mächtigkeiten in die Geodatenbank aufgenommen. Hierdurch wird die Verknüpfung mit den Vermessungsdaten ermöglicht und Bodenparameter lassen sich dreidimensional interpolieren.

4.3.2 Labormethoden

In der vorliegenden Arbeit werden ausschließlich etablierte Verfahren verwendet und keine neuen Methoden entwickelt. Da es sich größtenteils um Standardanalysen handelt, werden diese hier nur knapp erläutert. Für detaillierte Informationen über die angewandten Labormethoden wird auf die Arbeiten von VÖLKELE 1995 und MAHR 1998 verwiesen.

Standardanalysen

Zu den Standardanalysen gehören die Bestimmung der Farbe, des Carbonatgehaltes, des pH-Wertes, der Korngrößenzusammensetzung und des organischen Kohlenstoffes.

Die feldfrischen Bodenproben werden mindestens 48 Stunden im Trockenschrank bei 40°C getrocknet, bevor die Trennung von Skelett (> 2 mm) und Feinboden (< 2 mm) durchgeführt wird. Am Feinboden werden mittels der *Munsell* - Farbtafel Farbbestimmungen durchgeführt, wobei alle Proben eines Profils im direkten Vergleich und bei konstanten Lichtbedingungen beurteilt werden. Anschließend wird mit 10%-iger Salzsäure (HCl) auf Carbonatgehalt (CO_2 -Entwicklung) getestet. Bei positivem Test wird der Carbonatgehalt nach Scheibler gasvolumetrisch gemessen (LESER 1977; KRETZSCHMAR 1996). Die pH-Werte werden durch Aufschlämmen des Feinbodens in 0,01 n $CaCl_2$ - Lösung und anschließendem Messen der Wasserstoffionenkonzentration mittels Gaselek-

trode und einem pH-Meter Typ 521 der Firma WTW gemessen. Um die Korngrößenzusammensetzung zu ermitteln wird das Schlämm- und Siebverfahren nach KÖHN angewandt. Es werden wie bei MAHR (1998: 49) beschrieben, 20 g luftgetrockneter Feinboden mit 25 ml 0,1 n Natriumpyrophosphat ($Na_4P_2O_7$) und ca. 200 ml aqua dest. dispergiert. Nach ca. 10 minütigem Ultraschallbad werden die Proben über Nacht in einem Rotationschüttelapparat geschüttelt und anschließend mit aqua dest. auf 1000 ml ergänzt. Mit einer Pipettiervorrichtung nach KÖHN & KÖTTGEN erfolgt anhand eines Zeitplanes, der sich aus den *Stokes*schen Sinkgeschwindigkeiten ergibt, die Entnahme der Schluff- und Tonfraktion (SCHLICHTING & BLUME 1966). Die Sandfraktion wird durch das Nasssiebverfahren ermittelt.

Der organische Kohlenstoff (C_{org}), sowie Stickstoff (N) werden mit einem Elementanalysegerät, dem ‚Vario EL III CHNOS Elementaranalysator‘ der Firma *Elementar*, nach dem Prinzip der katalytischen Rohrverbrennung gemessen. Das Gerät wird im *CN*-Modus betrieben, d.h. nur die Elemente Kohlenstoff C und Stickstoff N werden bestimmt. Die Proben sind vor der Messung mit einer Kugelmühle drei Minuten bei 180 U/min zu homogenisieren. Anschließend werden je nach Kohlenstoffgehalt 20-40 mg Probenmaterial in Zinnschiffchen eingewogen und dem Gerät zugeführt. Bei allen Proben werden Doppelbestimmungen durchgeführt und daraus der Mittelwert gebildet. Zur Bestimmung des Tagesfaktors werden vor jeder Probenserie sechs Schiffchen mit 4-6 mg Sulfanilsäure gemessen. Um die Messungen des Gerätes überprüfen zu können, sind jeder Probenserie laboreigene Bodenstandards beigelegt. Die Nachweisgrenzen des Gerätes liegen bei Kohlenstoff zwischen 0,03-20 mg absolut, bei Stickstoff zwischen 0,03 und 3 mg absolut. Das Gerät besitzt eine Präzision von $< 0,1\%$ absolut bei einer Wiederfindungsrate von $> 99,5\%$ für Testsubstanzen (ELEMENTAR 2001).

Da eine Carbonatzerstörung von dem verwendeten Gerät nicht durchgeführt werden kann, werden carbonathaltige Proben, wie vom Hersteller ELEMENTAR (2001) empfohlen nach der Einwaage mit 30%-iger Salzsäure (HCl) entcarbonatisiert und anschließend gemessen.

Lagerungsdichte

Für die Bestimmung der Lagerungsdichte Ld (=Substanzvolumen) werden die ungestörten Volumenproben samt Entnahmezylinder bei 105°C über 12 Stunden im Trockenschrank getrocknet und anschließend gewogen. Nach Abzug des Gewichtes des Zylinders erhält man das Gewicht des Bodens (g) im Zylinder (V in cm^3), dessen Volumen bekannt ist.

$$Ld[g/\text{cm}^3] = \frac{m_t - T}{V}$$

m_t = Masse der absolut trockenen Stechzylinderprobe [g]

T = Tara: Masse des leeren Stechzylinders [g]

V = Volumen des Stechzylinders = 100 cm^3

(BARSCH et al. 2000: 303)

Wassergehaltsbestimmung

Aus der frisch angelegten Profilwand werden ca. 50 g Probe entnommen und in ein gas- und wasserdicht verschließbares Gefäß gegeben. Im Labor wird das äußerlich gereinigte und getrocknete Gefäß gewogen und anschließend in geöffnetem Zustand bei 105°C bis zur Geschichtskonstanz getrocknet. Danach wird das Gefäß erneut gewogen und der Wassergehalt in Masse - % (x) wie folgt errechnet:

$$x\% = \frac{\text{Feuchtgewicht} - \text{Trockengewicht}}{\text{Trockengewicht} - \text{TARA}} \times 100$$

(TARA = Leergewicht des Gefäßes)

(BARSCH et al. 2000: 311)

Tonmineralogische Untersuchungen

Zur Bestimmung, der in der Tonfraktion enthaltenen Tonminerale, werden Messungen mit einem Röntgendiffraktometer durchgeführt. Zunächst sind wie bei VÖLKE et al. (1992) beschrieben, die organischen und oxidischen Bindemittel mittels 6%-iger H_2O_2 zu entfernen und anschließend nach dem Verfahren von TANNER & JACKSON (1947) die

Tongewinnung in Atterbergzylindern durchzuführen. Die gewonnene Tonpaste wird bei Raumtemperatur in drei Präparationsstufen in definierten Mengen auf Glasobjektträger aufgetragen (EHEIM & VÖLKELE 1994: 57). Von jeder Probe wurden in dieser Arbeit nach den Angaben von VÖLKELE (1995) angefertigt: Mg - Normalpräparat, in Ethylenglykolatmosphäre geweitetes Mg - Normalpräparat und kaliumbelegtes Präparat. Das K - Präparat wurde zusätzlich bei 550°C erhitzt, um eventuelle sekundäre Chlorite zu beseitigen. Die röntgendiffraktometrischen Messungen wurden an dem Röntgendiffraktometer D 5000 der Fa. Siemens, mit der Konfiguration wie bei DOBLER & VÖLKELE (1994: 44) beschrieben durchgeführt (Cu $k\alpha$, 40 mA/40 kV, Theta / 2 Theta, Primärsollersplat, Sekundär-Monochromator, normal coupled step drive, step scan, step time 2,0 sec, step size 0,050°, ohne Probenrotation). Detaillierte Angaben der hier angewandten Verfahren zur Aufbereitung und Messung der Tonminerale sind bei VÖLKELE et al. (1992), EHEIM & VÖLKELE (1994) und VÖLKELE (1995) zu finden. Die Bestimmung der Tonminerale wurde unter Verwendung der bei BRINDLEY & BROWN (1980), MOORE & REYNOLDS (1989) sowie TRIBUTH & LAGALY (1991) beschriebenen Charakteristika von Tonmineralen durchgeführt. Mit der Software *MacDiff 4.2.5* von PETSCHICK (2001) wurden die Diffraktogramme dargestellt.

Alle Labordaten werden im Geoinformationssystem zu den Horizontdaten aus den Geländearbeiten ergänzt. Neben der Absicherung der Feldbefunde lassen sich dadurch zusätzliche dreidimensionale Zusammenhänge von Bodenparametern erkennen, bzw. ableiten. Zu nennen ist hier z.B. die horizontale Änderung der Korngrößenzusammensetzung innerhalb gleicher Horizonte.

4.4 Geophysikalische Prospektion

Durch die Anwendung geophysikalischer Prospektion sollen die punktuell gewonnenen Kenntnisse aus den Bohrdaten zweidimensional erweitert werden. Ziel ist es, Kolluvien zu erfassen, die auf *Bt*–, bzw. *lCv*–Horizonten aufliegen und eventuelle Rinnenstrukturen zu visualisieren, die durch die Kolluvien nivelliert wurden. Die maximal nötige Eindringtiefe für die Fragestellung liegt bei fünf Meter. Um diese Ziele zu verfolgen, werden die Refraktionsseismik und das Georadar ausgewählt. Die Refraktionsseismik ist für die Erkundung des oberflächennahen Untergrundes eine bewährte Methode (BURGER 1992: 57), wie in jüngerer Zeit in vergleichbaren Substraten von HECHT (2001, 2003), HOFFMANN & SCHROTT (2002, 2003) und SCHROTT et al. (2003) gezeigt wird. Auch das Georadar ist für die gewünschte Eindringtiefe vielfach erprobt, z.B. von SMITH & JOL (1995), BOLL et al. (1996), TEIXEIRA et al. (1998), ZIEKUR (2000), v.DAM (2001), INMAN et al. (2001), TRONICKE (2001), sowie LEOPOLD & VÖLKE (2004).

4.4.1 Refraktionsseismik

Die Refraktionsseismik beruht darauf, dass seismische Wellen an Grenzschichten im Untergrund gebrochen werden, an ihnen entlanglaufen und an Geophonen aufgezeichnet werden. Vorausgesetzt, die liegende Schicht weist eine schnellere Laufzeit als die hangende auf, erreicht die refraktierte Welle ab einer bestimmten Entfernung das Geophon früher, als die direkte Welle der hangenden Schicht. Je stärker sich die P-Wellengeschwindigkeiten der einzelnen Schichten unterscheiden, umso eindeutiger lässt sich die Lage des Refraktors (= Schichtgrenze) bestimmen (BURGER 1992, HECHT 2001). Die P-Wellengeschwindigkeiten von Substraten, die im Untersuchungsgebiet zu erwarten sind, werden in Tabelle 4.4 zusammengestellt:

Tabelle 4.4: P-Wellengeschwindigkeiten in unterschiedlichen Medien.

Substrat	P-Wellengeschwindigkeit [m/s]
Luft	333
(Ober-)Boden	100 - 600
Verwitterungszone	100 - 1400
Sand	100 - 2000
Quart. Deckschichten	200 - 800
Lehm	200 - 1900
Löss	300 - 1200
Sandstein	800 - 4500
Kreide	1600 - 4200
Wasser	1400 - 1600

Die angegebenen Werte basieren auf Angaben von KERTZ (1995), FERTIG (1997) und HECHT (2001)

Schematisch sind der Geräteaufbau und die Resultate einer Messung in Abbildung 4.4, sowie Tabelle 4.5 dargestellt.

Am abgebildeten Beispiel, einem Zweischichtprofil mit einer horizontal verlaufenden Grenzfläche, wird kurz das Prinzip der Berechnung der Geschwindigkeiten in den Schichten, sowie deren Mächtigkeiten erläutert:

Die Zeit t ergibt sich aus dem Weg x dividiert durch die Geschwindigkeit V :

$$t = \frac{x}{V_1} \text{ oder } \frac{dt}{dx} = \frac{1}{V_1}$$

Die Geschwindigkeit lässt sich folgendermaßen berechnen:

$$\text{Steigung} = \frac{1}{V_1} \quad \Rightarrow \quad V_1 = \frac{1}{\text{Steigung}}.$$

Im abgebildeten Beispiel (Abbildung 4.4) ergeben sich unter Verwendung von Tabelle 4.5 folgende Berechnungen der Schichtgeschwindigkeiten:

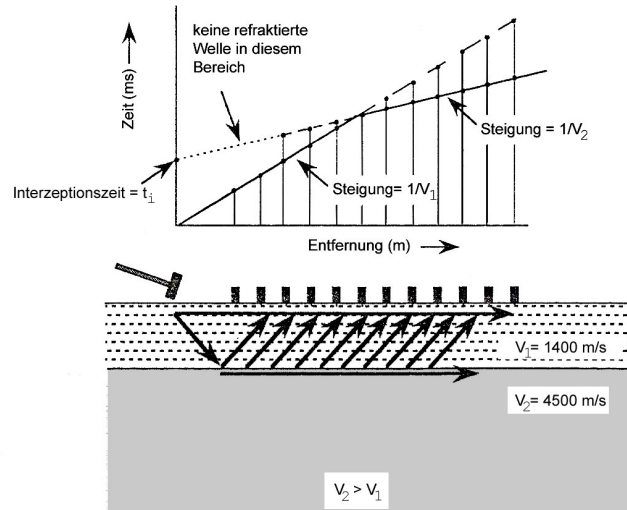


Abbildung 4.4: Generalisierte Darstellung des Geräteaufbaus und der Wellenverläufe sowie das daraus resultierende Diagramm der Laufzeiten. Quelle: BURGER (1992: 62).

$$\begin{aligned}
 \frac{dt}{dx} &= \frac{1}{V_1}; & \frac{dt}{dx} &= \frac{1}{V_2}; \\
 \frac{4,29}{6} &= \frac{1}{V_1}; & \frac{(28,91 - 26,25)}{(69 - 57)} &= \frac{1}{V_2}; \\
 0,715 &= \frac{1}{V_1}; & 0,222 &= \frac{1}{V_2}; \\
 V_1 &= \frac{1}{0,715}; & V_2 &= \frac{1}{0,222}; \\
 V_1 &= 1,399[m/ms]; & V_2 &= 4,505[m/ms]; \\
 V_1 &\approx 1400[m/s]; & V_2 &\approx 4500[m/s]
 \end{aligned}$$

Wenn man die Geschwindigkeiten der einzelnen Schichten kennt, lässt sich durch Verlängerung der Geschwindigkeitskurve der zweiten Schicht bis zur Zeitachse (t_i) die Mächtigkeit (h_1) der hangenden Schicht berechnen (Werte siehe Tabelle 4.5):

$$Zeit = t_i = 2h_1 \frac{(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}}{V_2 V_1}$$

$$h_1 = \frac{t_i}{2} \frac{V_2 V_1}{(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}}$$

$$h_1 = \frac{13,58}{2} \cdot \frac{4500 \cdot 1500}{(4500^2 - 1500^2)^{1/2}}$$

$$h_1 = 5,1[m]$$

(BURGER 1992: 57ff)

Eine weiterführende Beschreibung der Refraktionsseismik und deren Auswertung ist unter anderem bei TELFORD et al. (1976), MILITZER & WEBER (1987), SANDMEIER (1997), SANDMEIER & LIEBHARDT (1997) und HECHT (2001) nachzulesen.

Bei der vorliegenden Arbeit war davon auszugehen, dass mehrere Grenzschichten zu erfassen sind, die zudem nicht parallel verlaufen. Um diese zu erfassen, wurde mit fünf

Tabelle 4.5: Ersteinsatzzeiten der direkten und der refraktierten Welle.

Entfernung vom Schusspunkt (m)	Ersteinsatzzeiten (ms)	
	direkte Welle	refraktierte Welle
0	0,00	13,58
3	2,14	14,24
6	4,29	14,91
9	6,43	15,58
12	8,57	16,25
⋮	⋮	⋮
27	19,29	19,58
30	21,43	20,24
33	23,57	20,91
⋮	⋮	⋮
57	40,71	26,24
60	42,86	26,91
63	45,00	27,58
66	47,14	28,24
69	49,29	28,91

Schusspunkt: 0 m

Geophonabstand: 3 m

Geschwindigkeit 1 (V_1) = 1400 m/s

Geschwindigkeit 2 (V_2) = 4500 m/s

BURGER (1992)

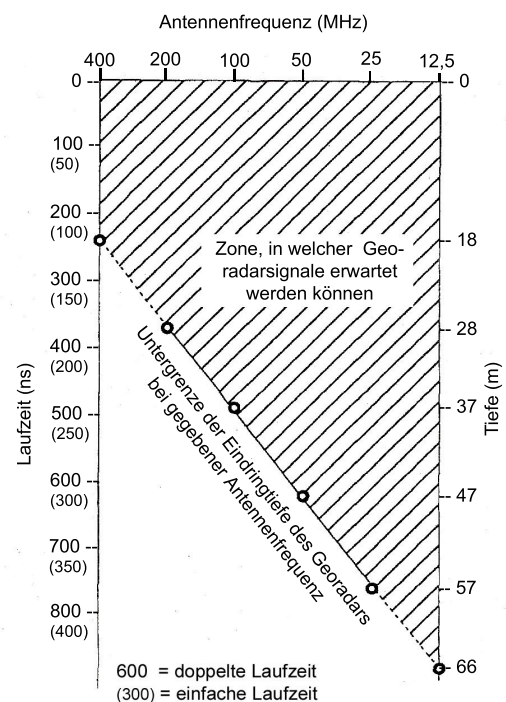
Schusspunkten, Schuss, Gegenschuss, Mittelschuss und 2 Fernschüssen gearbeitet. Zur Aufzeichnung wurde das 12-Kanal Seismometer *SmartSeis* der Firma Geometrics mit zwölf Geophonen verwendet. Die Geophonabstände betragen 2,0 m, 3,0 m und 5,0 m. Daraus ergeben sich Geophonauslagen der Längen 22, 33 und 55 m. Als Energiequelle dient ein 5 kg schwerer Vorschlaghammer. Um das Verhältnis zwischen Hintergrundrauschen und dem Signal zu verbessern, werden die Signale wie bei HOFFMANN & SCHROTT (2003) fünffach gestapelt. Zur Auswertung der im Feld gemessenen Daten wird die Software *ReflexWin* Version 3.0 von SANDMEIER (2003) eingesetzt. Die gemessenen Amplituden werden in der Software verstärkt und mit einem „low cut“-Filter die Störsignale der benachbarten Autobahn, mit einem „high cut“-Filter das Hintergrundrauschen entfernt. An den so bearbeiteten Kurven wurden die Ersteinsätze der seismischen Signale festgelegt. Unter Verwendung der Ersteinsatzzeiten wird zunächst ein Interzeptionszeitmodell aus Schuss und Gegenschuss unter Verwendung der oben erläuterten Formeln und der Software *RefractSolve* und *RefractModel* von BURGER & BURGER (1990a,b) berechnet. Anschließend wird mit der Software *RefelxWin* ein komplexeres Modell erstellt. Verwendet wird hierbei das Verfahren der Wavefront inversion, wie es in der Softwaredokumentation des Programms *ReflexWin* von SANDMEIER & LIEBHARD (1996) beschrieben ist. Die dabei ablaufenden Schritte sind bei SANDMEIER (1997), SANDMEIER & LIEBHARD (1997) und HECHT (2001) beschrieben.

Durch das Einmessen der Geophon- und Signalstandorte und deren Speicherung im Geoinformationssystem wird die Topographie für die Modellierung erfasst. Ein direkter Vergleich des Modells, welches aus den Seismikdaten erstellt wird, mit den Daten aus den Profilgruben und Bohrungen wird dadurch ermöglicht. Die Geophon- und Signalstandorte liegen dabei als Punktthemen vor, die Schichtgrenzen im Untergrund als Linienthema.

4.4.2 Georadar

Beim Georadar handelt es sich um ein geophysikalisches Verfahren zur Erkundung des Untergrundes auf der Basis elektromagnetischer Wellen. Das Prinzip der Georadarmessung ist vergleichbar mit dem der Reflexionsseismik. Beide Verfahren beruhen auf der Fortpflanzung und Reflexion von Wellen im Untergrund. Anstatt eines akustischen Signals wird beim Georadar jedoch ein elektromagnetisches verwendet, woraus sich eine unterschiedliche Auflösung und Eindringtiefe beider Methoden ergibt. Die Seismik kann zwar für größere Tiefen eingesetzt werden, das Georadar besitzt jedoch eine bessere Auflösung (v. DAM 2001: 12). Weitere Vorteile des Georadars für bodenkundliche Untersuchungen gegenüber konventioneller Verfahren, wie z.B. Bohrungen, bestehen darin, dass mit geringem Zeitaufwand große Mengen an kontinuierlichen hochauflösenden Daten aus dem Untergrund gewonnen werden können, ohne diesen zu zerstören. Daraus ergibt sich eine Produktionssteigerung von bis zu 210 % und eine Kostenersparnis der Feldarbeit von 70 % (DOOLITTLE 1987: 18).

Der Messablauf sieht so aus, dass von einer Antenne ein elektromagnetisches Signal ausgesandt und von einer zweiten Antenne das reflektierte Signal eines im Untergrund liegenden Reflektors empfangen wird. Dann wird das Gerät horizontal entlang einer Linie in einem definierten Intervall versetzt und weitere Messungen durchgeführt. Auf



Quelle: Smith & Jol (1995: 99)

Abbildung 4.5: Linearer Zusammenhang zwischen Antennenfrequenz und maximaler Eindringtiefe des Georadars. Die Werte für die 400, bzw. 12,5 MHz Antenne wurden extrapoliert.

diese Weise erhält man je nach Versatzintervall eine quasikontinuierliche Linie mit Untergrundinformationen.

Bis zu welcher Tiefe das Georadar dabei einsetzbar ist, hängt von gerätespezifischen sowie Standortfaktoren ab. Generell gilt, dass niedrigere Frequenzen tiefer in den Boden eindringen als höhere, jedoch bei geringerer vertikaler Auflösung. Die Wahl der zu verwendenden Frequenz stellt also einen Kompromiss aus gewünschter Eindringtiefe und Auflösung dar. Die maximal möglichen Eindringtiefen des Georadars in quartären unverfestigten, ton- und schluffarmen Sedimenten, nach SMITH & JOL (1995) optimalem Substrat, sind in Abbildung 4.5 dargestellt.

Ein wichtiger Faktor für die Eindringtiefe des elektromagnetischen Signals ist die Leitfähigkeit des Bodens. Diese hängt ab von der Porosität und Wassersättigung, der Art und Menge von gelösten Salzen, der Art und Menge von Ton, sowie der Signalstreuung, die sich durch Inhomogenitäten im Boden ergibt. Eine hohe Leitfähigkeit des Bodens wirkt sich negativ auf die Eindringtiefe des Georadars aus. Dies bedeutet, dass mit zunehmender Porenwassersättigung und Erhöhung der Anteile an gelösten Salzen das Radarsignal schwächer wird. Hoher Tongehalt im Boden wirkt sich ebenfalls negativ auf die Eindringtiefe aus. Dabei bewirken Smectit und Vermiculit im Vergleich zu Kaolinit, Gibbsit und Geothit aufgrund ihrer höheren Kationenaustauschkapazität bei gleicher Bodenfeuchte eine höhere Leitfähigkeit und damit Signalschwächung (DOOLITTLE & COLLINS 1995: 102f).

Außerdem hängt die Eindringtiefe und die Einsetzbarkeit des Georadars von der relativen Dielektrizitätskonstante des durchlaufenen Mediums ab. Das Reflexionsverhalten an der Grenzfläche zweier Medien wird durch den FRESNELSchen Amplituden-Reflexionskoeffizienten r gekennzeichnet. Bei unmagnetischem, nichtleitendem Material gilt bei einem Frequenzbereich >100 MHz, bei senkrecht einfallenden Wellen die Näherung wie in MILITZER & WEBER (1985: 161) beschrieben ist:

$$r \approx \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_2}}$$

$\varepsilon_{1,2}$: relative Dielektrizitätszahl des Mediums 1 bzw. 2

Von einem senkrechten Welleneinfall kann wegen der geringen Antennenabstände ausgegangen werden. Je stärker sich die relativen Dielektrizitätszahlen zweier Medien voneinander unterscheiden, desto stärker wird der Kontrast an der Grenzschicht. Die Dielektrizitätszahl ist jedoch auch stark vom Wassergehalt abhängig, welcher wiederum eine hohe Leitfähigkeit und damit Signaldämpfung besitzt. Dies bedeutet zwar ein starkes Signal im Radargramm, Schichten, die unterhalb der Grenzschicht liegen, werden dadurch aber abgeschirmt (ZIEKUR 2000: 15ff).

Um eine Schicht zu detektieren, ist neben dem ausreichenden ε_r -Kontrast auch ein genügend großer Abstand zwischen den Grenzschichten, bzw. zwischen Antennen und Grenzschicht Voraussetzung. MILITZER & WEBER (1985) beschreiben zwischen Sendepulslänge und dem Mindestabstand d zum Reflektor oder zweier Reflektoren voneinander folgenden Zusammenhang.

$$d = \frac{T \cdot c}{2\sqrt{\varepsilon_r}}$$

T : Sendepulslänge[ns]

c : Lichtgeschwindigkeit im Vakuum[m/ns]

ε_r : relative Dielektrizitätszahl des Mediums

Von einigen wichtigen Materialien sind die elektrischen Eigenschaften in Tabelle 4.6 zusammengestellt. Weitere Erläuterungen zum Prinzip der Methode sind neben bereits erwähnten Arbeiten zu finden bei TELFORD et al. (1976), KERTZ (1995) sowie bei BLINDOW et al. (1997).

Bei den in dieser Arbeit durchgeführten Georadarmessungen wurde mit einem Radargerät von *MALA Geoscience* und Antennenfrequenzen von 100 MHz, 200 MHz und 500 MHz sowie 1000 V Sendeleistung gearbeitet. Die Gerätekonfiguration für die in dieser Arbeit durchgeführten Feldmessungen ist in Tabelle 4.7 zusammengefasst. Alle Radarlinien werden mit sämtlichen in Tabelle 4.7 aufgeführten Konfigurationen gemessen. Zunächst soll die grobe Struktur des Untergrundes erkannt und mit zunehmender

Tabelle 4.6: Vertikale Auflösung und Geschwindigkeit von GPR-Wellen in unterschiedlichen Medien. Dielektrizitätszahlen und vert. Auflösung nach BASSON (1992), Geschwindigkeiten nach DAVIS & ANNAN (1989)

Material	Dielektrizitätszahl	Vertikale Auflösung (cm)			Geschwindigkeit (cm)
		f = 100 MHz	f = 200 MHz	f = 500 MHz	
Luft	1	150	75	30	0,3
Aqua Dest.	80	17	8,5	3,5	0,033
Süßwasser	80	17	8,5	3,5	0,033
Meerwasser	80	17	8,5	3,5	0,01
trockener Sand	3-5	87-67	43,5-33,5	17,5-13,5	0,15
wasserges. Sand	20-30	34-27	17-13,5	7-5,5	0,06
Schluff	5-30	67-27	33,5-13,5	13,5-5,5	0,07
Ton	4-40	67-24	33,5-12	13,5-5	0,06

Auflösung Details der Bodenstruktur erfasst werden. Hauptziel des Georadars war die Erfassung der Mächtigkeit von Kolluvien. Mit der Software *ReflexWin* wurden die Rohdaten der Messung nach dem im Handbuch von ReflexWin (SANDMEIER 2003) sowie dem in der *GRORADAR* – Softwaredokumentation von OLHOEFT (2002) beschriebenen Muster prozessiert und dargestellt. Die Interpretation der Radardaten erfolgt, indem die Reflexionsmuster, wie sie in LEOPOLD & VÖLKEL (2004: 61) dargestellt und beschrieben sind, ausgewertet werden. Für die Zeit / Tiefenfunktion wird mit dem Wert 0,07 m/ns gearbeitet.

Tabelle 4.7: Gerätekonfiguration des Georadars *MALA* von Geoscience, mit 1000 Volt Sendeleistung

Antennenfrequenz (MHz)	Abschirmung + / -	Antennenabstand (m)	Schrittweite (m)	Stapelung
100	-	1,0	0,25	32
200	-	0,6	0,25	4
500	+	0,18	0,1	8

Alle Radarlinien werden in das lokale Koordinatensystem, welches für die tachymetrische Vermessung erstellt wurde, eingemessen. Dadurch stehen gut aufgelöste Höhendaten zur Verfügung, um die Topographie bei der Modellierung zu berücksichtigen. Die genaue Lageerfassung ermöglicht die Eichung der Radardaten an den Bohrprofilen. Durch die Speicherung der im Untergrund detektierten Horizonte im GIS wird der direkte Vergleich mit den Bohrdaten möglich.

4.5 Datierungen

Um die Erosionsprozesse zeitlich einordnen zu können, wird neben der rein stratigraphischen, relativen Datierung auch auf physikalische Absolutdatierungen zurückgegriffen. Zur Verwendung kommen Radiocarbonatierungen sowie Altersbestimmungen direkt am Sediment mittels der optisch stimulierten Lumineszenz (= OSL).

Bei der Radiocarbonatierung (= ^{14}C - Datierung) wird das Absterbealter eines Organismus datiert. Neben den physikalischen Grenzen dieser Methode treten bei geomorphologischen und bodenkundlichen Arbeiten weitere entscheidende limitierende Faktoren auf. Zum einen muss im Sediment bzw. dem zu datierenden Horizont organisches Material vorhanden sein, zum anderen wird nicht das Ablagerungsalter, sondern das Absterbealter datiert. Dies führt unter anderem bei Systemen, die nach dem Cascadenmodell aufgebaut sind, wie es bei CHORLEY et al. (1984), NILLER (1998) oder HEINE & NILLER (2003) beschrieben ist, zu inversen Altersangaben im vertikalen Profilschnitt. Durch genaue Kenntnis der Stratigraphie kann dieser Fehler jedoch beseitigt werden. Weitere Probleme stellen in Lösung gehender Kohlenstoff sowie Umbildungen der Organik, bzw. der Artefakte, dar (LANG & WAGNER 1997: 393).

Die Proben für die ^{14}C - Datierung wurden im Gelände aus den Bohrsonden bzw. direkt aus der Profilwand gewonnen und bis zur Datierung gesondert aufbewahrt. Um neben den makroskopisch sichtbaren Kohlefragmenten auch Kohlefitter zu extrahieren, wurden die Proben in 10%igem Natriumpyrophosphat ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) aufgeschlämmt und über Nacht in einem Rotationsschüttler belassen. Anschließend wurde das Probenmaterial

mit einem Sieb mit 630 μm Maschenweite gesiebt, wobei das feinere Material mit einem 100 μm -Filter aufgefangen wurde. Sieb und Filter wurden dann bei 40°C getrocknet. Mit Hilfe einer Lupe (10-fache Vergrößerung) konnte anschließend das organische Material separiert werden. Die Probendatierung wurde vom Physikalischen Datierungslabor in Erlangen durchgeführt.

Bei der OSL-Datierung wird gemessen, wie lange der im Sediment befindliche Quarz oder Feldspat der Strahlung des umgebenen Sediments ausgesetzt ist. Die Quarz- bzw. Feldspatpartikel speichern dabei diese Strahlung, bis sie wieder dem Tageslicht ausgesetzt werden. Dabei reicht die Lichtmenge, wie sie in Süddeutschland vorhanden ist aus, um schluffige Sedimente, wie z.B. Löss ausreichend zu bleichen (LANG & WAGNER 1997: 393). Datiert wird somit der Zeitpunkt der Überdeckung der Partikel durch das Sediment. Dieses Verfahren hat sich in zahlreichen Studien für die Datierung von Kolluvien und Löss bewährt, wie unter anderem FRECHEN (1999), LANG (2002), LANG & NOLTE (1999), LANG & HÖNSCHEID (1999), LANG et al. (2003), KADEREIT et al. (2001) und KADEREIT et al. (2002) zeigen. Einen allgemeinen methodischen Überblick über die Lumineszenzdatierung gibt AITKEN (1998). Weitere methodische Aspekte sind bei BERGER et al. (2004), LANG et al. (1996), MURRAY & WINTLE (2000), MURRAY & OLLEY (2002) und SINGHVI et al. (2001) beschrieben.

Für die OSL-Datierung werden die Proben aus einer Profilgrube entnommen, indem ein Plastikrohr von 25 cm Länge und 4 cm Durchmesser horizontal mit einem Hammer in die Profilwand getrieben wird. Das Probenrohr wird anschließend ausgegraben und lichtdicht verschlossen. Die so präparierte Probe wird an das Nordic Laboratory for Luminescence Dating in Risø geschickt. Dort wird die Datierung des Quarzes durchgeführt. Näheres zum Datierungsvorgang des Labors ist bei MURRAY & WINTLE (2000) und MURRAY & OLLEY (2002) beschrieben.

Begleitend wird eine Bodenprobe genommen, die luftdicht ins Labor transportiert wird, um die Bodenfeuchte zu ermitteln.

Die erhaltenen Absolutalter werden in der Attributtabelle des Geoinformationssystems mit den jeweiligen Entnahmehorizonten unter Angabe der Tiefe und der Altersspanne verknüpft.

4.6 Erstellung und Auswertung des Geoinformationssystems

Alle Ergebnisse der geomorphologischen und bodenkundlichen Feldarbeiten sowie alle Laborergebnisse werden in einer relationalen Datenbank gespeichert. In welcher Form die Daten in die Geodatenbank aufgenommen werden, ist bei den jeweiligen Abschnitten der Beschreibung der Methode erläutert. Durch die gezielte räumliche Verknüpfung der Einzeldaten entsteht eine umfassende geographische Datenbank, das Geoinformationssystem (GIS). Das hier aufgebaute GIS besteht aus topographischen Informationen, die aus amtlichen Kartenblättern und eigener Vermessung gewonnen wurden sowie aus Sachdaten, die aus den Feld- und Laborarbeiten resultieren, ferner aus historischen Quellen in Text- und Kartenform. Durch die Verknüpfung dieser Informationen wird eine qualitative und quantitative Raumanalyse und deren Visualisierung in Form von Modellen und Karten möglich. Für die Erstellung des GIS wird hauptsächlich das Softwarepaket ArcGIS (Version 8.3) verwendet, allerdings kann auch auf ArcView (Version 3.2) nicht verzichtet werden. Für ArcView bestehen für einige hier aufgetretene Problematiken bereits „User-Skripten“, wodurch keine eigenen Erweiterungen programmiert werden müssen. Die hydrologische Modellierung wird mit TOPAZ durchgeführt.

4.6.1 Verfahren zur Erstellung der digitalen Geländemodelle

In dieser Arbeit werden unterschiedliche digitale Geländemodelle (DGM) erstellt, die unterschiedliche Zwecke zu erfüllen haben. Ein Geländemodell beschreibt das gesamte Untersuchungsgebiet und dient zur Reliefanalyse und zur Modellierung des potentiellen Oberflächenabflusses, bzw. von Wassereinzugsgebieten. Ein weiteres Geländemodell dient der Darstellung der Oberfläche eines Teilgebiets und wird für Massenbilanzierungszwecke erstellt.

Digitales Geländemodell des gesamten Untersuchungsgebietes

Aufgrund der Ausdehnung des Untersuchungsgebietes wurde ein Geländemodell erstellt, welches einen Mittelweg zwischen Höhe der Auflösung und Datenmenge darstellt. Dabei ist nicht die Rechenleistung, sondern die Verfügbarkeit von Daten der begrenzende Faktor. Als Datengrundlage lagen Höhenlinienkarten im Maßstab 1:5000 vor. Da einige Interpolationsverfahren nur Punktdaten verarbeiten können, wurde die Höheninformation in dieser Form digitalisiert. Zwar besteht die Möglichkeit, Linien nachträglich in Punkte umzuformen, dabei treten jedoch diverse Probleme bezüglich der sich daraus ergebenden Punktverteilung auf. Bei der Umformung von Linien- in Punktdaten muss vom Anwender ein festes Intervall angegeben werden, in welchem die Punkte entlang der Höhenlinie zu verteilen sind. Wählt man ein zu großes Intervall, läuft man Gefahr, an Knickpunkten der Höhenlinie, wie sie z.B. entlang von Tiefenlinien auftreten, wichtige Information zu verlieren. Ist der Punktabstand zu gering gewählt, erhält man Datenmengen, deren Prozessierungszeit bei aufwendigen Interpolationsverfahren nicht in Relation zur benötigten Auflösung steht.

In der verwendeten Software stehen zahlreiche Interpolationsverfahren zur Verfügung, um aus den Punktdaten ein Flächenmodell zu erstellen. Als Ergebnis muss ein Rasterhöhenmodell entstehen, da für die weitere Auswertung in TOPAZ (**T**opographic **P**arameterization) nur Rasterdaten verarbeitet werden können. Es werden die drei unter anderem bei BOOTH (2000) beschriebenen Verfahren „Spline“, „Inverse Distance Weighted (=IDW)“ und „Natural Neighbours“ durchgeführt und miteinander verglichen. Alle genannten Verfahren zählen zu den exakten Interpolationsmethoden, d.h. es wird nur zwischen den gegebenen Werten interpoliert und die berechnete Oberfläche schneidet alle Originalwerte. Bei dem Spline- sowie dem IDW-Verfahren hat der Anwender die Möglichkeit, unterschiedliche Parameter bei dem Rechenverfahren zu verändern. Dies setzt jedoch die Kenntnis der Rohdaten bezüglich der Verteilung und Varianz voraus. Bei dem Natural Neighbours-Verfahren handelt es sich um einen fest vorgegebenen Algorithmus, welchen der Anwender nicht beeinflussen kann.

Das Spline-Verfahren, auch Rubbersheet-Verfahren genannt (BURROUGH 1989), generiert eine Geländeoberfläche so, als ob eine Gummimatte über die Einzelwerte gespannt wird (McCOY & JOHNSTEN 2002). Dadurch wird eine geglättete Oberfläche erstellt, die alle Ausgangspunkte schneidet. Minima und Maxima der Ausgangsdaten können dabei jedoch unter-, bzw. überschritten werden. Das Spline-Verfahren eignet sich für nicht zu stark reliefiertes Gelände, da es Tiefenlinien und Rücken, Delen und Kuppen mit zunehmender Werteschwankung stärker betont. In steilem Gelände kommt es zur Generierung von nicht vorhandenen Tiefenlinien am Hangfuß und zur Bildung eines Rückens oberhalb des Hanges, wie in Abbildung 4.6 zu sehen ist (BURROUGH 1989).

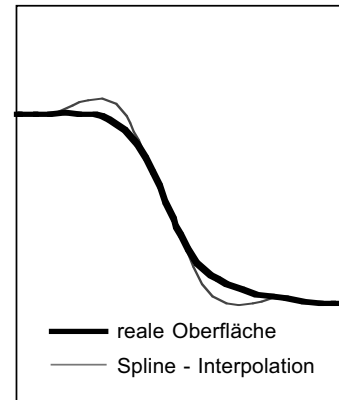


Abbildung 4.6: Spline-Interpolation

Beim „Inverse Distance Weighted“-Verfahren wird davon ausgegangen, dass die Punkte mit zunehmender Distanz zueinander an Zusammenhang verlieren. Durch ein gewichtetes Mittel werden die Rasterzellen zwischen den Ausgangspunkten berechnet. Die Gewichtung nimmt dabei mit zunehmender Entfernung zum Punkt ab. Die Distanz, bis zu welcher die Punkte in Relation zueinander stehen und in die Interpolation einzubeziehen sind, ist vom Anwender zu bestimmen. In dieser Arbeit werden hierfür Semivariogramme mit dem „Geostatistical Analyst“ (ArcGIS) erstellt und ausgewertet. Die dabei angewandte Vorgehensweise ist bei JOHNSTON et al. (2001: 173 ff) erläutert. Probleme treten bei diesem Verfahren dann auf, wenn eine ungleichmäßige Punkteverteilung im Raum vorliegt. Im Resultat kann sich dies je nach Punktverteilung in Form von Terrassen oder einer „Inselbildung“ äußern. Die „Inselbildung“ entsteht bei zu geringer Punktedichte und/oder zu gering gewähltem Radius.

Ebenfalls um eine Interpolation mit einem gewichteten Mittel handelt es sich bei dem Natural Neighbours-Verfahren. Zunächst wird dabei ein TIN (Triangulated Irregular Network) aus den Ausgangspunkten erstellt, wodurch die zu verwendenden Knotenpunkte

ermittelt werden. Darüber wird eine konvexe Hülle „aufgespannt“ und über Thiessenpolygone die Gewichtung der Punkte ermittelt. Dieses Verfahren ist ein Allzweckverfahren und eignet sich auch gut bei unregelmäßiger Punkteverteilung. Der Anwender muss keine eigenen Parameter bestimmen (BOOTH 2000: 53 ff).

Die Ergebnisse der Verfahren „Spline“ und „IDW“ sind im Gegensatz zum „Natural Neighbours“-Verfahren stark von der räumlichen Verteilung und der Varianz der Höhendaten abhängig. Von einer günstigen Verteilung kann bei einer Gaußschen Normalverteilung ausgegangen werden. Aufschluss über die Punkteverteilung, globale und lokale Ausreißerwerte und globale Trends liefert die Auswertung des Datensatzes im ArcGIS „Geostatistical Analyst“, wie sie bei JOHNSTON et al. (2001: 87ff) beschrieben wird.

Digitale Geländemodelle für die Massenbilanzierung

Für die Massenbilanzierung sind zwei digitale Geländemodelle zu erstellen. Eines beschreibt die rezente Geländeoberfläche, eines die Oberfläche, wie sie vor der Bodenerosion ausgesehen hat. Ziel dieser Höhenmodelle ist die maximale Auflösung. Zu diesem Zweck ist eine eigene Datenerhebung der rezenten Geländeoberfläche mittels einer terrestrischen Vermessung notwendig, wie sie in Kapitel 4.1 beschrieben ist. Um die ehemalige, rezent begrabene Oberfläche zu rekonstruieren, werden Daten aus Bohrungen und Profilgruben verwendet. Die Fehlbeträge aus den Erosionsbereichen werden durch den Vergleich mit benachbarten, möglichst ungestörten Bodenprofilen abgeleitet.

Aus den Vermessungsdaten wird durch Dreiecksvermaschung mittels „Delaunay Triangulation“ ein TIN (= Triangulated Irregular Network) der rezenten Geländeoberfläche berechnet. Bei diesem Verfahren wird ein Höhenmodell aus Vektordaten erstellt, welche sich für Volumenberechnungen am besten eignen (BREUNIG 2005: 40 ff). Das TIN hat weiterhin den Vorteil, dass starke Schwankungen in der Punktedichte gut verarbeitet werden können. Für Bereiche mit „glatter“ Oberfläche sind nur wenige Punkte notwendig, Bereiche mit „rauher“ Oberfläche können mit sehr vielen Einzelwerten belegt werden (ZEILER 1999: 50). Eine genaue Beschreibung über den Aufbau von TINs, die TIN-Erstellung und den Vergleich mit Rastermodellen ist bei ZEILER (1999: 166ff) zu

finden.

Da eine eigene Datenerhebung stattgefunden hat, ist gewährleistet, dass je nach Geländebeschaffenheit eine ausreichende Punktedichte vorliegt. Die Daten für die rekonstruierte ehemalige Geländeoberfläche werden ermittelt, indem im Akkumulationsbereich die Mächtigkeiten der Kolluvien, die sich aus den bodenkundlich - geomorphologischen Feldarbeiten ergeben, von der rezenten Geländeoberfläche subtrahiert werden. Die auf diese Weise gewonnenen Punktwerte der Schwemmfächerbasis ergeben durch Dreiecksvermaschung ein TIN, welches die Grenzfläche zwischen Schwemmfächer und ehemaliger Oberfläche repräsentiert. Im Erosionsbereich sind zunächst die Tiefenlinien zu nivellieren und anschließend die gekappten Bodenprofile auf die angenommenen Horizontmächtigkeiten zu ergänzen. Aus den Punktedaten entsteht durch Triangulation die ehemalige Geländeoberfläche, wie sie vor der Hohlwegeintiefung ausgesehen hat.

4.6.2 Reliefanalyse

Die Reliefanalyse wird in ArcGIS mit dem „3D Analyst“, wie von BOOTH (2000: 121ff) beschrieben, durchgeführt. Auf Basis des zuvor erstellten Höhenmodells werden die Parameter Exposition und Hangneigung ermittelt, wobei die Exposition in die acht Klassen N ($337,5^\circ - 22,5^\circ$), NE ($22,5^\circ - 67,5^\circ$), E ($67,5^\circ - 112,5^\circ$), SE ($112,5^\circ - 157,5^\circ$), S ($157,5^\circ - 202,5^\circ$), SW ($202,5^\circ - 247,5^\circ$), W ($247,5^\circ - 292,5^\circ$) und NW ($292,5^\circ - 337,5^\circ$) eingeteilt wird und die Neigung in folgender Form klassifiziert wird:

0 - 1° ; > $1 - 3^\circ$; > $3 - 8^\circ$; > $8 - 13^\circ$; > $13 - 18^\circ$; > $18 - 30^\circ$; > 30° .

Diese Gradeinteilung wurde gewählt, um eine gute Differenzierung im Bereich $<18^\circ$ ($\cong 40\%$) zu erreichen. Steigungen $>40\%$ sind für den Menschen nur noch in geringem Maße befahr- bzw. begehbar.

4.6.3 Bestimmung des Einzugsgebietes der Erosionsmassen

Die Bodenerosion ist im Untersuchungsgebiet neben dem aktiven Transport durch Viehhufe, Bremseinrichtungen und Wagenräder an das Wasser als Transportmedium gebunden. Dabei bewirkt nach AUERSWALD (1998) zum einen die Spritzwirkung der Regentropfen an geneigten Hängen einen Nettotransport hangabwärts. Zum anderen bewirkt der Abfluss des Wassers einen Transport, der entsteht, wenn im Verlauf des Regens die Infiltrationsfähigkeit der Bodenoberfläche durch die Verschlammung zurückgeht.

Der Nettotransport findet immer, unabhängig ob durch aktive Bodenverlagerung der Fuhrwerke oder durch Wasser, hangabwärts statt. Daraus ergibt sich, dass die oberirdischen Wasserscheiden auch die Grenzen des Einzugsgebietes der Erosionsmassen bilden. Um diese Wasserscheiden zu ermitteln, wird das digitale Geländemodell mit der Software TOPAZ (Topographic Parameterization Software) analysiert. Hierfür werden zunächst abflusslose Senken aufgefüllt und

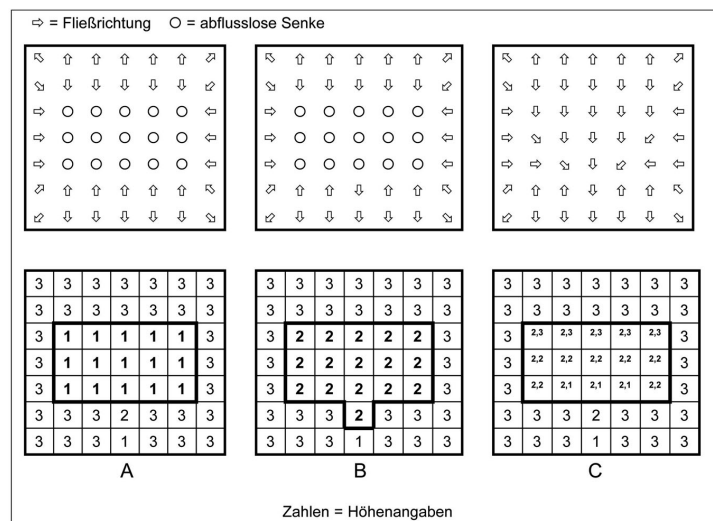


Abbildung 4.7: Identifikation und Auffüllen abflussloser Senken im digitalen Höhenmodell, nach LUDWIG (2000)

eine Glättung der Oberfläche durchgeführt. Die Ermittlung der abflusslosen Senken wird durch die „Deterministic 8“-Methode (D8-Methode) von O'CALLAGHAN & MARK (1984), wie in Abbildung 4.7 dargestellt, durchgeführt. Beim dargestellten Verfahren handelt es sich um ein eindimensionales Abflussmodell. Solche Modelle behandeln den Abfluss, der über die Fläche einer Rasterzelle erzeugt wird, als ob er im Zentrum der Rasterzelle entspringen würde. Als Ergebnis erhält man einen eindimensionalen Abflusspfad.

Für die Anwendung auf ein Raster-DGM bedeutet dies, dass der Abfluss von einer Rasterzelle (Quell-Rasterzelle) immer genau an eine ihrer Nachbarzellen (Ziel-Rasterzelle) weitergegeben wird.

Nach Bestimmung des lokalen Gefälles (Abbildung 4.7, A) werden abflusslose Senken sichtbar. Durch Erhöhung der Werte in den Rasterzellen, welche keine Ziel-Rasterzelle in ihrer Nachbarschaft haben, wird der nächstmögliche Abfluss gesucht (B). Um innerhalb der Senke ein Abflussmuster zu erhalten, werden hier in kleinstmöglichen Schritten die Rasterwerte erhöht (C).

Um aus dem vorverarbeiteten Geländemodell Stoffeinzugsgebiete zu ermitteln, werden die einzelnen Rasterelemente einem vorher definierten „Hauptpunkt“, welcher die Erosionsbasis darstellt, zugeordnet.

Durch dieses Verfahren wird einerseits das Stoffeinzugsgebiet des gesamten Untersuchungsgebietes, andererseits das Teileinzugsgebiet für die Detailstudie an einem Schwemmfächer bestimmt.

4.6.4 Quantitative Erosionsanalyse

Die quantitative Erosionsanalyse gliedert sich in zwei Bereiche. Zum einen ist eine hochauflösende Massenbilanzierung im Bereich eines Schwemmfächers Ziel der Arbeit, zum anderen soll das komplette Untersuchungsgebiet bezüglich der Bodenerosion, speziell der Erosion durch die Hohlwegeintiefung, quantitativ erfasst werden. Die Massenbilanzierung im Bereich des Schwemmfächers basiert auf zwei TIN-Höhenmodellen, die Gesamtbilanz auf den Volumina der kartierten Hohlwege.

Massenbilanz des Schwemmfächers

Für die Massenbilanz wird unterschieden in Erosions- und Akkumulationsbereich, zwischen welchen ein Überlappungsbereich besteht. Durch Verwendung der ArcView - Erweiterung „Surface Tools“ wurden die betreffenden Bereiche aus den oben genannten TIN-Oberflächen mit Hilfe eines „Clip“-Themas ausgeschnitten. Es ergeben sich somit vier Teiloberflächen:

- rezente Oberfläche des Erosionsbereiches (ROE)
- präerosive Oberfläche des Erosionsbereiches (POE)
- rezente Oberfläche des Schwemmfächers (ROS)
- präerosive, begrabene Oberfläche unter dem Schwemmfächerkörper (POS)

Mit Hilfe des „3D-Analyst“ wird das Volumen zwischen einer fiktiven horizontalen Fläche mit der Höhe Null und den Teiloberflächen (ROE, POE, ROS, POS) berechnet. Die Teilvolumina für Erosionsbetrag (EB) und Akkumulationsbetrag (AB) errechnen sich wie folgt:

$$EB = POE - ROE$$

$$AB = ROS - POS$$

Die berechneten Volumina werden anschließend mit den Lagerungsdichten, die sich aus der Laboranalytik ergeben, multipliziert.

Gesamtmassenbilanz

Zur Erstellung der Massenbilanz des Gesamtgebietes werden nur die Hohlformen der Erosion betrachtet, da davon auszugehen ist, dass große Mengen der Erosionsmasse durch die Naab und Donau das System bereits verlassen haben und nicht mehr zu erfassen sind.

Alle Volumina der Teilabschnitte des Hohlwegsystems, die sich aus der quantitativen Kartierung ergeben, werden addiert und ergeben ein Gesamtfehlvolumen. Dies wird mit einer mittleren Lagerungsdichte multipliziert und ergibt den Betrag der Erosionsmasse. Bei der Gesamtbilanz sind zahlreiche Fehlerquellen vorhanden, die es zu beachten gilt. Bei der Messung der Länge der Formen mit dem Maßband tritt nach RÜTTIMANN & PRASUHN (1990: 42f) ein negativer Fehler zwischen 2,5 % und 5 % auf, bei der Messung durch Abschreiten in steilem Gelände bis 10 %. Die Ermittlung des charakteristischen Querschnittes unterliegt dem subjektiven Ermessen des Kartierers und ist daher mit einem nicht exakt quantifizierbaren Fehler behaftet. Von einer Abweichung von $\pm 20\%$ kann ausgegangen werden. Weiterhin bestehen Unsicherheiten bei der zu vermessenden

mittleren Tiefe und mittleren Breite sowie der Ablesung des Messgerätes. Dieser Fehler nimmt nach RÜTTIMANN & PRASUHN (1990: 43f) mit zunehmender Größe der Form ab und liegt in Anlehnung an die Erfahrungen der genannten Autoren bei den hier untersuchten Formen im ungünstigsten Fall bei <3%.

Die Berechnung des Fehlers für die Querschnittsfläche kann über die Fortpflanzungsformel errechnet werden:

$$F = x_1 \cdot x_2 \qquad \frac{\Delta F}{F} = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2}$$

x_1 = gemessener Wert der mittleren Tiefe;

x_2 = gemessener Wert der mittleren Breite;

Δx_1 = absolute Abweichung der mittleren Tiefe;

Δx_2 = absolute Abweichung der mittleren Breite;

Berücksichtigt man den Fehler von etwa $\pm 20\%$ der durch die subjektive Auswahl des repräsentativen Querschnittes des Teilstückes auftritt, ist der Fehler der Querschnittsfläche um folgenden Betrag zu erhöhen:

$$F = x_1 + x_2 \qquad \Delta F = \pm \sqrt{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2}$$

x_1 = Fehler 1;

x_2 = Fehler 2

Die Berechnung des Gesamtvolumens setzt sich aus der Querschnittsfläche \pm Fehler multipliziert mit der Abschnittslänge \pm Fehler zusammen (RÜTTIMANN & PRASUHN 1990 41ff).

5 Ergebnisse der physisch-geographischen Arbeiten

5.1 Digitale Geländemodelle

Im Rahmen der Geländeauswertung wurden unterschiedliche digitale Geländemodelle des Untersuchungsgebietes erstellt. Im Hinblick auf ihre Verwendungszwecke wurden sie auf unterschiedliche Art und Weise generiert und optimiert.

5.1.1 Modelle des gesamten Untersuchungsgebietes

Die Modelle des gesamten Untersuchungsgebietes hatten mehrere Zwecke zu erfüllen. Zum einen sollte eine Reliefanalyse bezüglich Neigungs- und Expositionsklassen daran durchgeführt werden, zum anderen musste es als Grundlage für die Ermittlung der Teileinzugsgebiete der Erosion dienen. Um das für diese Zwecke bestmögliche Geländemodell zu ermitteln, wurden das „Spline-Verfahren“, das „Inverse Distance Weighted-Verfahren“ (=IDW) und das „Natural Neighbour-Verfahren“ miteinander verglichen.

Spline - Interpolation

Vor der Durchführung der Berechnung der Oberflächen wurde eine statistische Auswertung der Ausgangsdaten vorgenommen. Die Auswertung ergab für das „Spline-Verfahren“ einen Suchradius von 200 m. Dieser Abstand garantierte, dass in allen Bereichen Höhen- daten von mindestens drei benachbarten Isohypsen in die Interpolation miteinbezogen wurden, andererseits keine Punkte miteinander verrechnet wurden, welche wegen ih-

rer Entfernung keine räumliche Relation mehr aufwiesen. Aus der Fehleranalyse ergab sich für die Modelloberfläche der „Spline-Methode“ ein RMS - Fehler von 0,50, und die Betrachtung der Kurve der statistisch „vorhergesagten“ Werte zeigte, dass statistisch in keiner Höhenstufe mit einer erhöhten Anzahl von Ausreißerwerten zu rechnen war. Betrachtet man die absoluten Fehler, so lag der Maximalwert bei 10,2 m Abweichung. (Statistische Auswertung siehe Anhang A-2).

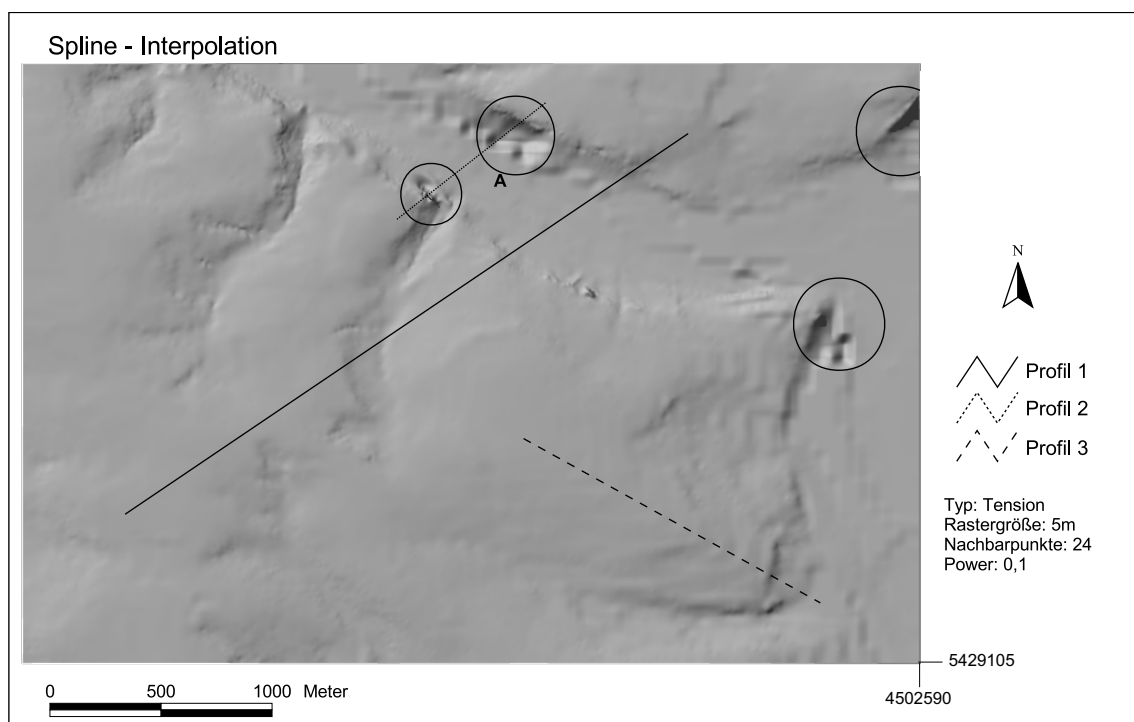


Abbildung 5.1: Digitales Geländemodell der Spline-Interpolation der Geländeoberfläche

Das Modell, welches mit dem „Spline-Verfahren“ berechnet wurde, erscheint als eine gut geglättete Oberfläche (Abbildung 5.1). In den eingekreisten Bereichen sind jedoch Stellen einer fehlerhaften Berechnung zu erkennen. In der Statistik erscheint der Fehler mit $RMS=0,5$ als klein, in der Realität sind die Mängel des „Spline-Modells“ allerdings erheblich. Wie stark der Interpolationsfehler tatsächlich ist, verdeutlicht Profilschnitt 2 (Abbildung 5.5). In diesem Bereich weist die reale Geländeoberkante auf kurzem Raum starke Höhenunterschiede auf. Zwar kann im Oberhangbereich durch Glättung der Ober-

fläche eine Verbesserung des Modells erreicht werden, die fehlerhaft gebildete Tiefenlinie im Hangfußbereich ist dadurch jedoch nicht zu beseitigen. Die genannte Tiefenlinie liegt im Bereich der Naab, die an dieser Stelle eine Meereshöhe von etwa 330 m aufweist. Der Vergleich zwischen Modell und Karte ergibt eine maximale Differenz von ca. 55 m. Der Ausschnitt um Profillinie 2 weist den extremsten Höhenunterschied auf. In den mit der Kreissignatur gekennzeichneten Gebieten sind bereits visuell weitere gravierende Fehler auszumachen. In den Hangbereichen zur Naab und Donau sind, wie in Profilschnitt 1 (bei 2500 m - 2700 m) zu erkennen ist, weitere Schwächen des „Spline-Modells“ zu erkennen. Die statistische Berechnung der „Range“ mit einem Radius von einem Pixel (siehe Anhang A-1) gibt weitere Hinweise auf Ausschnitte mit erheblichen Fehlern. Da der Isohypsenabstand mit Ausnahme im Bereich des Bahndammes sowie nördlich der Naab in Höhe Waltenhofen fünf Meter beträgt, muss die Wertedifferenz benachbarter Punkte kleiner fünf sein. Insgesamt liegen 3,4 % der Werte in der Klasse > 5 , die für eine fehlerhafte Interpolation stehen. Verortet sind diese Bereiche nahezu ausnahmslos am Hangfuß. Geländeausschnitte mit geringer Rauigkeit, wie im Profilschnitt 3 (0 m - 1200 m), werden realitätsnah interpoliert. Von der Einbeziehung des Oberflächentrends wurde abgesehen, da dies nicht zu einer Verbesserung in den genannten Bereichen mit den groben Mängeln führen würde.

Inverse Distance Weighted Interpolation

Für das „Inverse Distance Weighted - Verfahren“ wurde ein Suchradius von 200 m ermittelt. Unter Berücksichtigung des Oberflächentrends (siehe Anhang A-4) ergibt sich eine Trendrichtung von ca. 25° Ost. Bezieht man dies in das Interpolationsverfahren mit ein, ergibt sich ein elliptisches Suchfeld der nächsten Nachbarn mit einer Hauptachse von 200 m und einer kürzeren Achse von 150 m, bei einer Schrägstellung von 25° . Weiter ergibt die statistische Auswertung einen RMS - Fehler von 1,85. Wie aus der „Predicted / Measured“- Kurve erkennbar wird, ist in keiner Höhenstufe mit Ausreißern zu rechnen. Absolut gesehen sind jedoch vor allem unter einer Höhe von etwa 400 m größere Abweichungen zu erkennen, die bei maximal 15,9 m liegen können. (statistische Auswertung siehe Anhang A-3).

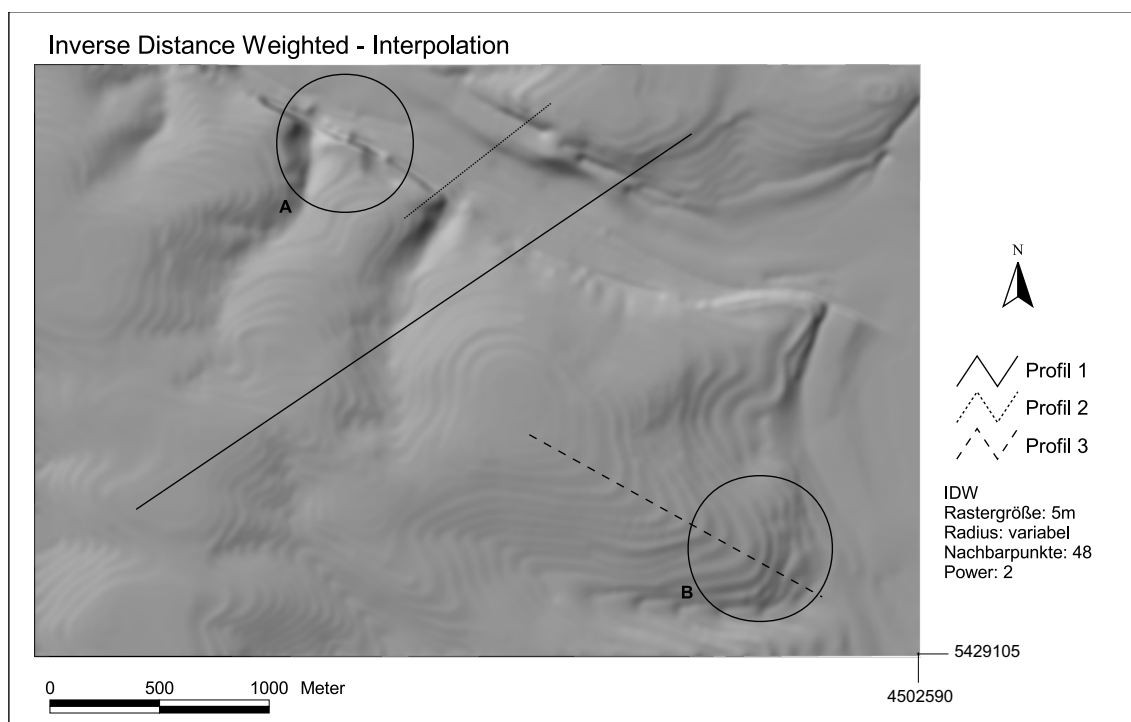


Abbildung 5.2: Digitales Geländemodell der Inverse Distance Weighted Interpolation der Geländeoberfläche

Die mit dem IDW-Verfahren berechnete Geländeoberfläche ist in Abbildung 5.2 dargestellt. Wie z.B. im Bereich B, ist optisch eine Terrassierung zu erkennen. Diese wird allerdings durch die Darstellungsform zu stark betont, da die Schattierung im Gegensatz zum Höhenmodell auf Integerdaten basiert. Im dreifach überhöht dargestellten Profil 3 dieses Modells ist zu erkennen, dass die Modelloberfläche in der Realität nicht so eine starke Stufenbildung, wie zunächst angenommen, aufweist (Abbildung 5.5). Eine Inselbildung, wie sie bei zu geringer Punktdichte, bzw. zu gering gewähltem Radius auftreten kann, ist nicht zu beobachten. Im markierten Bereich A ist eine Bruchlinie ausgeprägt. Diese Kante ist jedoch nicht als Fehler zu sehen, sondern wurde bewusst bei der Modellierung angelegt, da sie den Verlauf eines Bahndammes nachzeichnet. Die statistische Überprüfung der „Range“ (siehe Anhang A-1), wie sie auch beim „Spline-Modell“ angewandt wurde, ergibt beim „IDW-Modell“ keine Hinweise auf Fehler. Die 1,6 % der Werte in der Klasse > 5 sind alle dort verortet, wo sie zu erwarten sind, und zwar

im Bereich des Bahndammes sowie am nördlichen Naabufer gegenüber Waltenhofen.

Natural Neighbours Interpolation

Das mit dem „Natural Neighbours“ Verfahren gerechnete digitale Geländemodell weist, wie in Abbildung 5.3 zu sehen ist, neben einer geringen Terrassenbildung in einer Tiefenlinie in der südöstlichen Ecke des Modells visuell keine Fehler auf. Auch die Auswertung der Profilschnitte gibt keine Hinweise auf extreme Fehlinterpolationen. Da das „Natural Neighbours“-Verfahren dem Anwender keine Möglichkeit bietet, Parameter zu bestimmen, ist es nicht möglich, den genannten Bereich zu optimieren. Ein weiteres Defizit ist die fehlende Bruchkante, die durch den Bahndamm gebildet wird.

Es hat sich gezeigt, dass das „Spline-Verfahren“ die am besten geglättete Oberfläche erstellt. In den Hangfußbereichen treten jedoch gravierende Fehler auf. Gerade anthropogen bedingte „kantige“ Oberflächenformen verschwimmen bei diesem Verfahren. Ebene

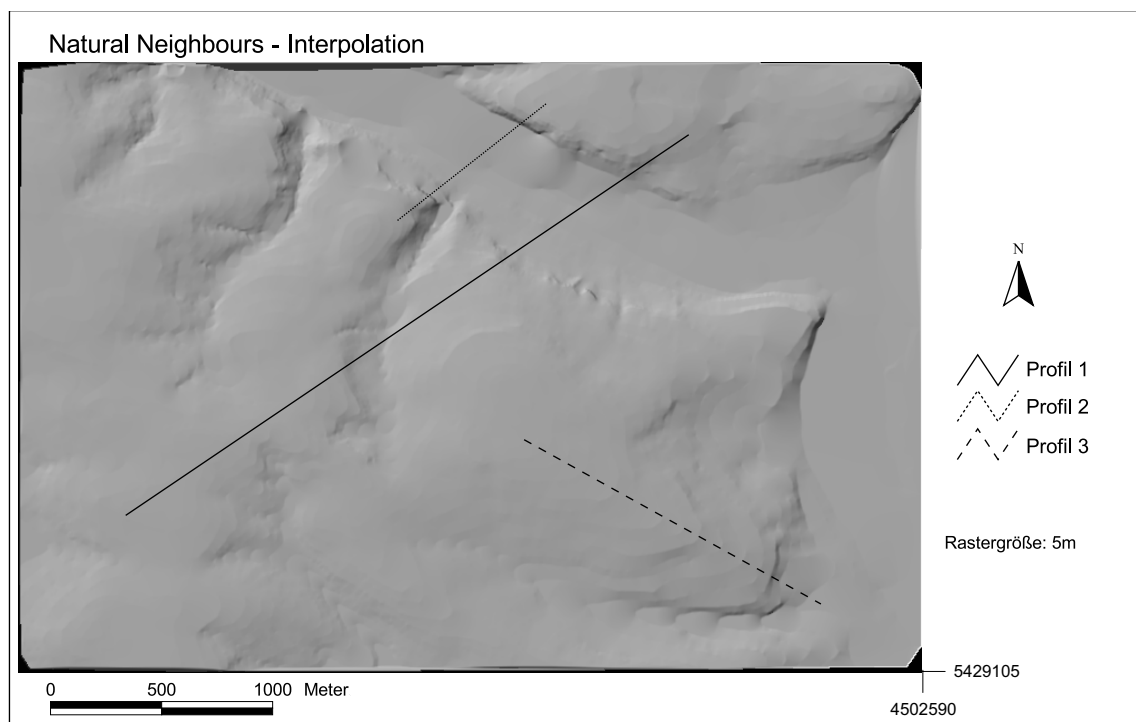


Abbildung 5.3: Digitales Geländemodell der Natural Neighbours - Interpolation der Geländeoberfläche

Flächen treten im „Spline-Modell“ nicht auf, zudem wird der Verlauf von Höhenrücken und Tiefenlinien falsch wiedergegeben, da über die Maximal- / Minimalwerte der zugrunde liegenden Höhendaten hinaus interpoliert wurde. Besonders deutlich ist dies in Profillinie 2 (Abbildung 5.5) zu erkennen. Der Verlauf von Höhenrücken und Tiefenlinien spielt jedoch bei der Altstraßenforschung und der hydrologischen Modellierung eine bedeutende Rolle.

Beim „Inverse Distance Weighted - Verfahren“ können Minima und Maxima der Ausgangsdaten nicht über-, bzw. unterschritten werden, wodurch keine so großen Fehler wie beim „Spline-Verfahren“ auftreten. In Profilschnitt 2 (Abbildung 5.5) zeigt sich jedoch im Flussbereich (470 m - 600 m) aufgrund der geringen Punktedichte ebenfalls eine unakzeptable Abweichung vom erwarteten Wert.

Das „Density“-Bild (Abbildung 5.4) der Punktverteilung zeigt an, dass weitere Bereiche mit geringer Punktdichte vorliegen. Dies bedeutet, dass in weiteren Bereichen mit Fehlern der gleichen Größenordnung zu rechnen ist. Ein anderes Problem, welches häufig bei der Oberflächeninterpolation auf Basis von Höhenlinien entsteht, ist die Terrassenbildung. Diese ist, durch das Schattierungsthema verstärkt, in den eingekreisten Bereichen des „IDW-Modells“ (Abbildung 5.2) besonders deutlich zu erkennen. Für die Ableitung der

Reliefparameter Exposition und Neigung, fällt diese geringe Stufenbildung nur schwach ins Gewicht. Insgesamt treten sowohl optisch als auch bei der Auswertung der Profillinien beim „Natural Neighbours“-Modell die geringsten Fehler auf. Die Mängel des „IDW-Modells“ sind zwar ebenfalls tolerierbar, für die weitere Verarbeitung und Auswertung des Modells wird jedoch das „Natural Neighbours“-Modell verwendet, da dieses die beste Annäherung an die reale Oberfläche darstellt.

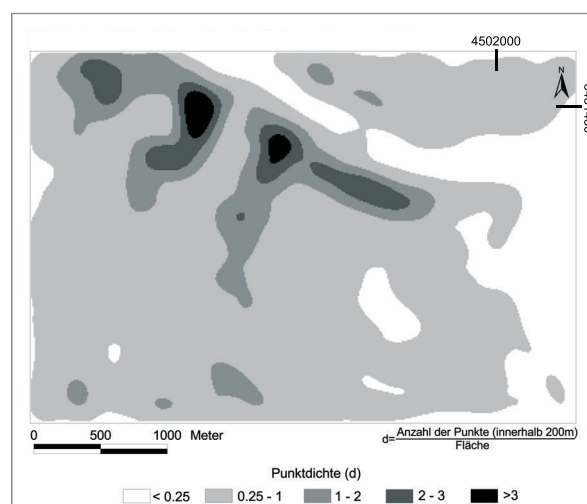


Abbildung 5.4: Dichtekarte der Punkteverteilung

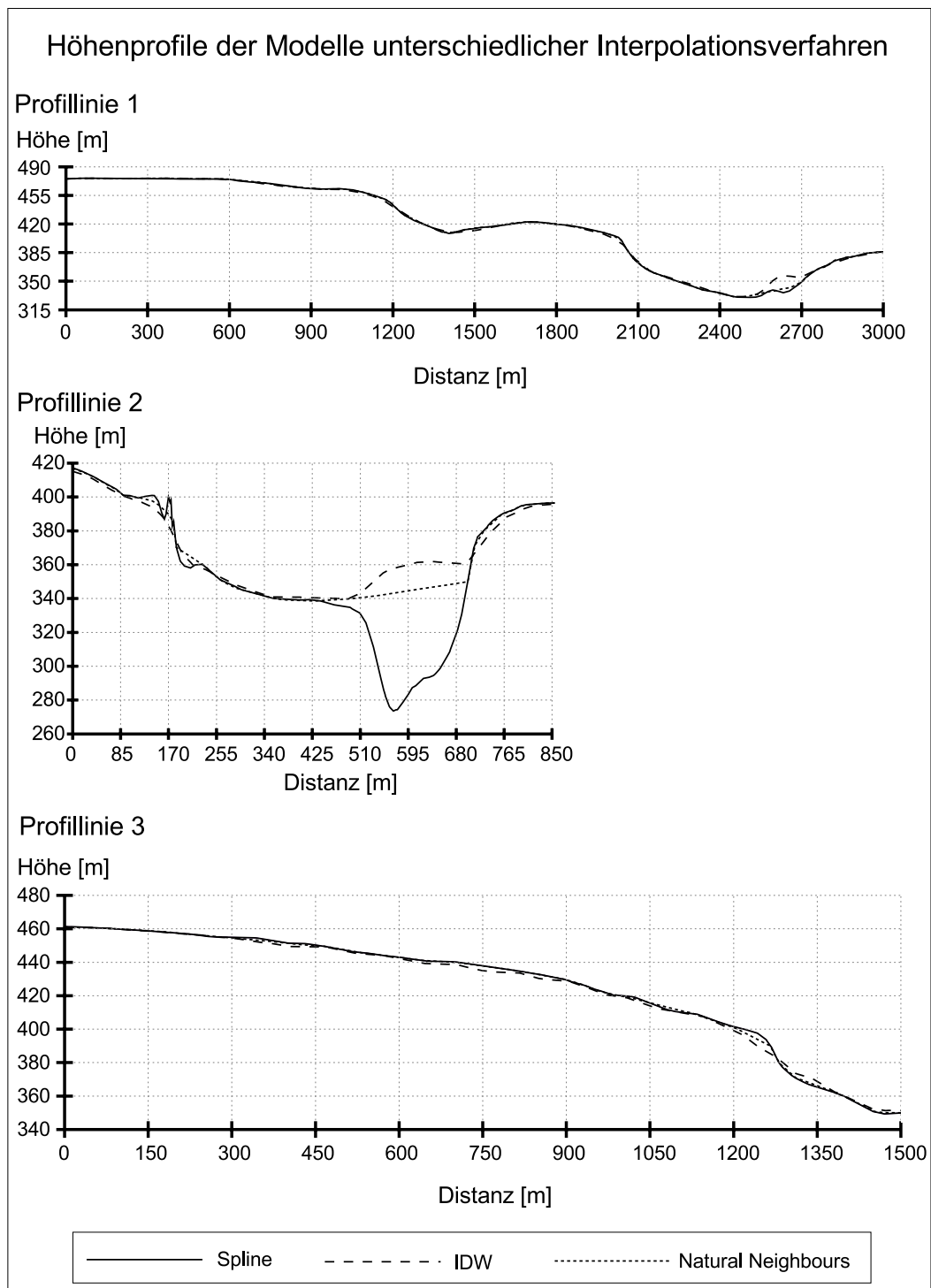


Abbildung 5.5: Vergleich der Höhenprofile unterschiedlicher Modelloberflächen

5.1.1.1 Reliefanalyse

Aus dem zuvor erstellten DGM (Natural Neighbours Interpolation) werden die Hangneigung und die Exposition abgeleitet. Um besser interpretierbare Hangneigungs-, bzw. Expositionskarten zu erhalten, wird die ursprüngliche Rasterzellengröße von fünf Meter auf 25 Meter erhöht. Hierfür wurde eine Glättung durch Mittelwertbildung über einen Radius von 25 m durchgeführt.

In Abbildung 5.6 ist das Untersuchungsgebiet bezüglich der Hangexposition klassifiziert.

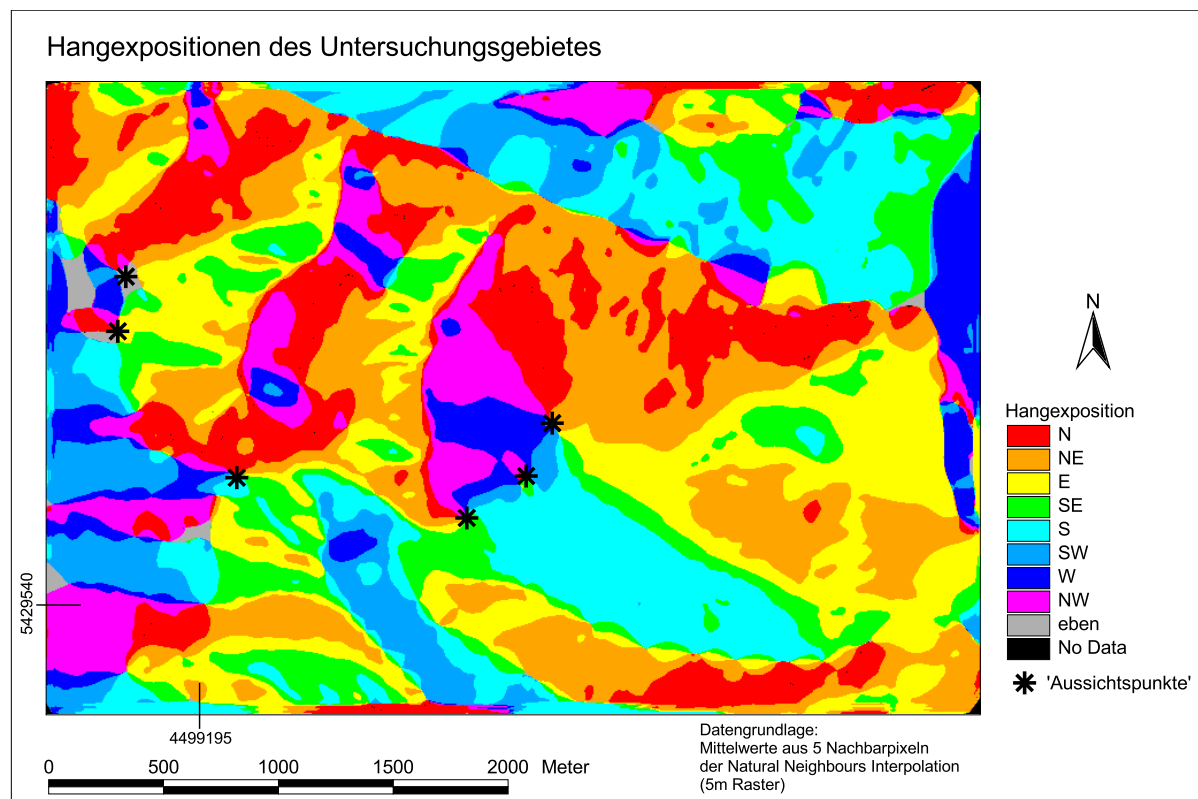


Abbildung 5.6: Hangexpositionen des Untersuchungsgebietes

Durch die Darstellung der Exposition lassen sich Höhenrücken und Tiefenlinien im Relief erkennen. Daneben lassen sich Punkte ermitteln, von welchen man einen Blick in alle Himmelsrichtungen hat. Diese Bereiche sind für die hier vorliegende Fragestellung von besonderem Interesse, da sie für den Menschen als Aussichtspunkte oder auch als Standorte von Wegweisern von Bedeutung sind. Bei gemeinsamer Betrachtung mit der

Hangneigungskarte (Abbildung 5.7) lassen sich Wegverläufe konstruieren, die ohne zwischenzeitliche Höhenverluste und ohne zu große Steigungen auskommen.

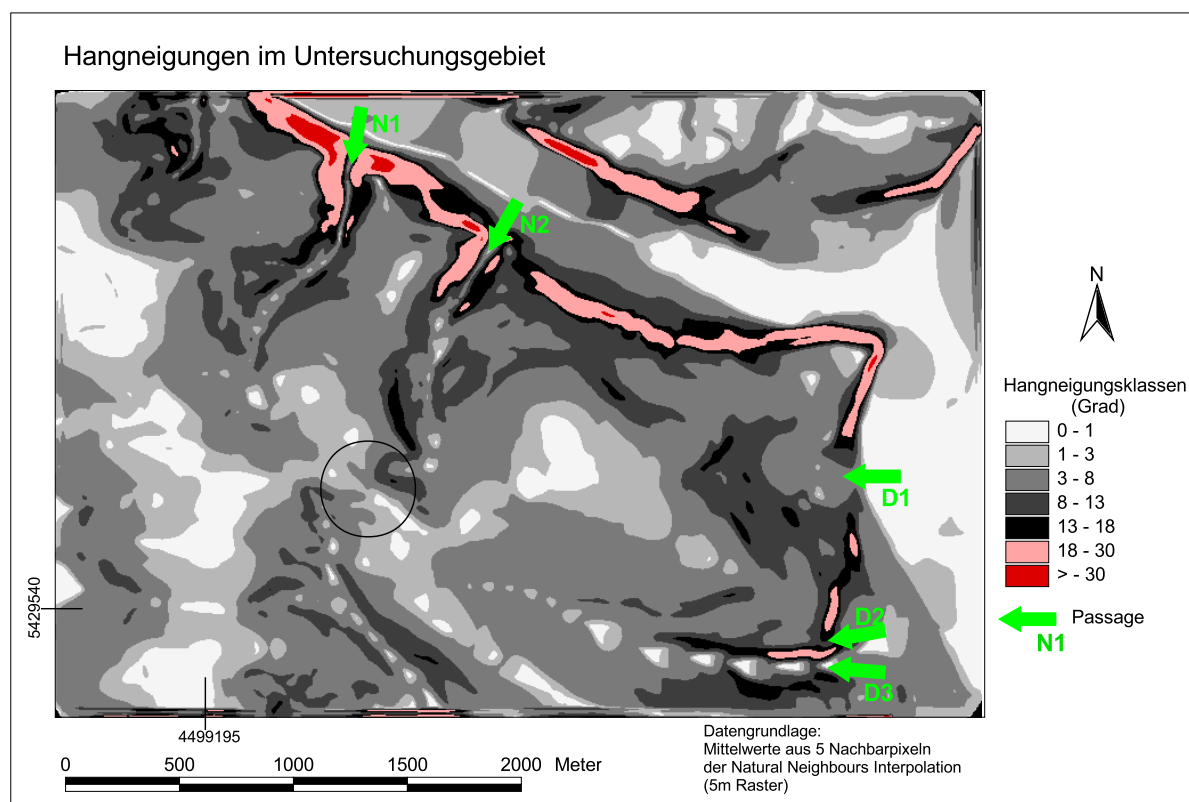


Abbildung 5.7: Hangneigungen des Untersuchungsgebietes

Die in Grautönen dargestellten Bereiche weisen Hangneigungen von weniger als 18° auf, die rot eingefärbten Flächen alle größeren Steigungen. Es wird erkennbar, dass die relativ ebene Albhochfläche, die durch Hangneigungen $< 3^\circ$ gekennzeichnet wird, von einem großen Saum mittlerer Hangneigungen umgeben ist. Zu den Flusstälern hin ist dann jedoch eine geologisch bedingte Steilstufe zu erkennen, die nur an wenigen engen Stellen durch Taleinschnitte durchbrochen ist. Aus dem Naabtal sind auf der Karte die zwei passierbaren Stellen im Bereich von Taleinschnitten markiert (Abbildung 5.7, Signatur N 1, N 2). Die Täler weisen an ihren Flanken ebenfalls große Hangneigungen auf, so dass sie erst nahe der Hochfläche verlassen werden können. Von der Donau kommend, sind drei Aufstiegswege möglich. Im Bereich von D1 (Abbildung 5.7) ist die steile Kante auf einer

Breite von über 200 m aufgelöst, bzw. in abgeschwächter Form hangaufwärts versetzt. Ein weiterer schmaler Durchgang ist durch den Pfeil D2 markiert. Durch zusätzliche Betrachtung der Expositionskarte wird diese Passage als begehbar erkannt. Die Verbindung zwischen Donau und Hochfläche (D3) verläuft entlang eines Tales, welches mit geringer Steigung parallel der Stufe angelegt ist. In diesem Tal befindet sich heute die Verbindungsstraße von Riegling nach Eilsbrunn.

Es ist davon auszugehen, dass in den rot eingefärbten Bereichen wegen der großen Hangneigung keine senkrechten Wege verlaufen. Wie in Kapitel 3.1.1 bereits erläutert wurde, ist die maximale Hangneigung für den Einsatz von Pferden bei 40 % anzusetzen. Dieser Richtwert wird vermutlich auch von Ochsespannen nicht überschritten.

Bei gleichzeitiger Betrachtung von Expositionskarte und Hangneigungskarte fällt ein in Abbildung 5.7 mit einem Kreis markierter Bereich auf. Hierbei handelt es sich um den Höhenrücken der Albhochfläche, der an dieser Stelle auf einen Korridor von ca. 100 m Breite verengt wird. Dieser Ausschnitt ist im Rahmen der Altstraßenforschung der von Westen nach Osten verlaufenden Trassen von besonderem Interesse. Hier ist ein Bündelungspunkt von mehreren Trassen, die sich im Hangbereich aufgespreizt haben, zu vermuten. Die Karte des Hohlwegsystems (Kapitel 5.2, Abbildung 5.11) wird Aufschluss darüber bringen. Westlich dieser Engstelle breitet sich die Hochebene auf eine große Fläche aus.

5.1.1.2 Modellierung des Oberflächenabflusses

Durch die Berechnung der Abflussrichtungen des Oberflächenwassers sind die Stofftransportrichtungen zu ermitteln. Darauf basierend können die Stoffeinzugsgebiete, die in Abbildung 5.8 dargestellt sind, abgeleitet werden. Um Stoffeinzugsgebiete zu bestimmen, wird ein Basispunkt definiert, der die Erosionsba-

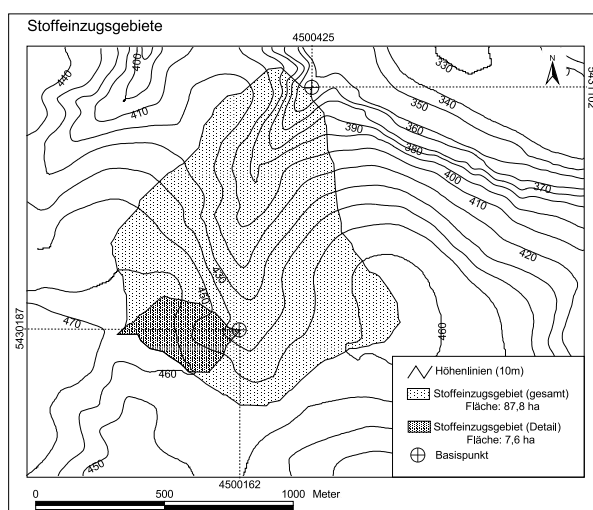


Abbildung 5.8: Abgrenzung der Stoffeinzugsgebiete

sis für das darüberliegende Wassereinzugsgebiet bildet. An diesem Pixel laufen alle Fließvektoren zusammen und werden gebündelt. Der hier gewählte Punkt liegt in einer Engstelle kurz oberhalb des Bahndammes, an welchem das Runsensystem, welches bei Waltenhofen in die Naab entwässert, gebündelt wird. Unterhalb des Bahndammes sind keine Spuren von Oberflächenwasser zu finden, da es von den Hangsedimenten infiltriert wird, wodurch es zur Sedimentation der im Runsensystem transportierten Stoffe kommt. Das Stoffzugsgebiet umfasst eine Fläche von 87,8 ha. Für die Detailstudie an einem Schwemmfächer wird ein Basispunkt gewählt, der auch die laterale Materialzufuhr auf dem Schwemmfächer erfasst und deshalb unterhalb des Schwemmfächers liegt. Kleinere Rillen- und Rinnensysteme, die im vorliegenden DGM nicht wiedergegeben werden, beeinflussen die Sedimenttransportwege. Daher muss das berechnete Teileinzugsgebiet bei den Feldarbeiten kritisch betrachtet werden.

Die Abbildung der Stoffeinzugsgebiete beschreibt die rezente Situation; in dieser Arbeit wird allerdings ein Zeitraum von maximal 3000 Jahren untersucht. Daher ist anzunehmen, dass der Grenzverlauf der Einzugsgebiete sich über die genannte Zeitspanne verändert hat. Sowohl im Modell, als auch im Gelände sind jedoch keine Merkmale zu finden, die auf gravierende Änderungen, z.B. auf Anzapfung, Verschneidung oder Richtungswechsel verschiedener Systeme hinweisen. Für eine Verlagerung der Wasserscheiden, z.B. durch rückschreitende Erosion, gibt es ebenfalls keine Anhaltspunkte im Gelände. Zwar hat sich durch die Erosionsprozesse eine Veränderung der Oberflächenabflusswege innerhalb des Einzugsgebietes ergeben, die Obergrenzen werden jedoch als stabil erachtet.

5.1.1.3 Möglichkeiten und Grenzen der digitalen Reliefanalyse

Durch die Reliefanalyse lassen sich für die Altstraßenforschung jene Bereiche ermitteln, an welchen ein Trassenverlauf technisch möglich wäre und auch als sinnvoll erscheint. Andererseits lassen sich auch Bereiche erkennen, die, isoliert betrachtet, eine gute Wegführung ermöglichen, im übergeordneten Kontext hingegen, z.B. auf Grund von Steilpassagen nicht für eine Straße geeignet sind. Weiterhin lassen sich aus dem

Relief Engstellen ableiten, an welchen es zwangsläufig zu einer Wegebündelung geführt haben muss. Zu beachten ist allerdings, dass der energetisch beste Weg keinesfalls der bevorzugte für den Reisenden war. Versucht man heute, schwierige Teilstücke zu umgehen, hat man sie in der Vergangenheit dem Umweg bevorzugt (MANSKE 2003: 33). Es ist also zu beachten, für welchen Zeitraum man die Interpretation des Reliefs ansetzt, da zu verschiedenen Zeiten in der Geschichte unterschiedliche Gewohnheiten vorherrschten. Weiter ist zu bedenken, dass sich die Wegführung für nichtmotorisierte Transporte in vorindustrieller Zeit sicherlich nicht ausschließlich nach dem Relief richtete. Verfügbarkeit von Wasser, Bodenbeschaffenheit, Mautstationen, Brückenanschluss etc. sind wichtige wegbestimmende Faktoren, die nicht aus dem Relief ableitbar sind. Insgesamt liefert die Reliefanalyse Hinweise auf mögliche Trassenführungen, wobei alle potentiell nutzbaren Bereiche erkannt werden können. Um die Ergebnisse abzusichern, sind unter anderem die genannten wegbestimmenden Faktoren zu untersuchen sowie eine Feldbegehung durchzuführen.

Für die Bestimmung potentieller Abflussrichtungen ist die Reliefauswertung eine brauchbare und schnelle Methode. Um reale Oberflächenabflüsse zu simulieren, sind jedoch weitere Faktoren, wie die Feldkapazität, Aggregatstabilität, Vegetationsbedeckung etc. zu berücksichtigen.

Zu berücksichtigen ist zudem, dass die Qualität der Reliefanalyse stark vom zugrunde liegenden Geländemodell abhängt. Dabei ist neben der Rasterauflösung des Oberflächenmodells auch dessen Fehlerdiskussion zu betrachten.

5.1.2 Geländemodell des Schwemmfächers

Für ein Teilgebiet des Untersuchungsgebietes wurde eine terrestrische Oberflächenvermessung mit einem Tachymeter durchgeführt. Dieses im Detail zu untersuchende Areal wurde durch die Reliefanalyse des vorangegangenen Abschnittes in Abbildung 5.8, „Stoffeinzugsgebiet (Detail)“, definiert. Um aus den Daten der Vermessung ein digitales Oberflächenmodell zu berechnen, wurde eine Dreiecksvermaschung durchgeführt, wodurch das in Abbildung 5.9 dargestellte „Triangulated Irrregular Network“ (=TIN) entsteht.

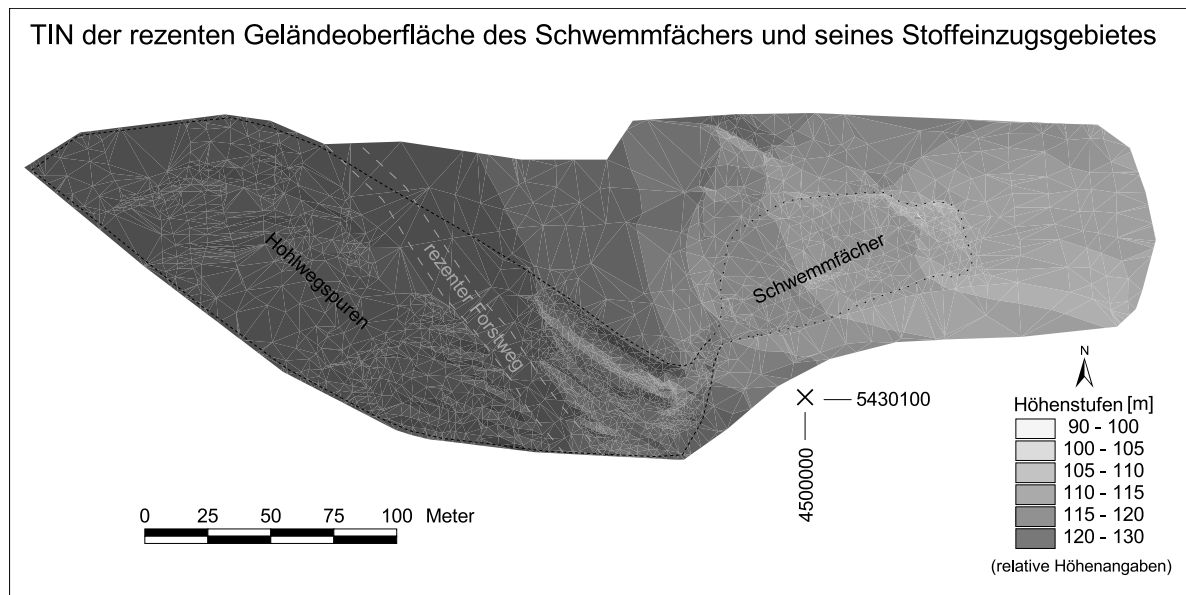


Abbildung 5.9: Tachymetrisch vermessene Oberfläche des Schwemmfächers und dessen Einzugsgebiet

Die dargestellte Geländeoberfläche ist in zwei Bereiche zu unterteilen. In das Erosionsgebiet, welches durch Hohlwegspuren gekennzeichnet ist, und in das Akkumulationsgebiet, in welchem sich ein Schwemmfächer ausgebildet hat. Dabei reicht der Ansatz des Schwemmfächers etwa 15 m in das Hohlwegsystem hinein. Die Fläche des Abtragungsreiches beträgt 2,4 ha, die des Ablagerungsbereiches 0,5 ha. Zwischen dem Abtragungs- und Ablagerungsgebiet befindet sich ein Überschneidungsbereich. Der Schwemmfächer reicht mit seinem Ansatz bis in die Hohlwegspuren hinein. Im Erosionsgebiet zeigt sich an einem Steilstück zwischen dem befestigten Forstweg und dem Schwemmfächer ein Bereich mit zwei tief eingeschnittenen Hohlwegen, der eine Gesamtbreite von etwa 40 m umfasst. Westlich des Forstweges ist das Relief flacher und die Hohlwegspuren sind weniger tief eingesunken, verteilen sich allerdings auf eine Breite von ca. 120 m.

5.2 Karte des Hohlwegsystems

Durch Kartierarbeiten wurden alle Hohlwege im Untersuchungsgebiet erfasst. Dabei wurde keine Wertung vorgenommen, sondern nur die morphologische Erscheinung aufgenommen. In Abbildung 5.10 (S. 72) ist die rezente Verbreitung der Hohlwege des Bearbeitungsgebietes dargestellt.

Bei der Betrachtung der Karte ist festzustellen, dass zwei lückenlose Hohlwegbündel von den Donauhängen, zwischen Mariaort und Riegling, bis auf die Hochfläche zu verfolgen sind. Dort treffen sie zusammen und passieren die bereits aus der Reliefanalyse bekannte Engstelle (vgl. Abbildung 5.7) auf der Hochfläche. Im Verschneidungsbereich der Wegbündel kommt es zu einer deutlichen Erhöhung der Anzahl der Einzeltrassen, wie Abbildung 5.11 verdeutlicht. Der Knotenpunkt ist zudem durch eine stark verzweigte Trassenführung mit vielen Weggabelungen gekennzeichnet. Dies deutet auf ein großes Verkehrsaufkommen hin. Durch die vielen vorhandenen Weichen war ein Wechsel der Fahrspur möglich. Außerdem weisen die vielen Spurwechsellmöglichkeiten darauf hin, dass es im dargestellten Abschnitt häufig zu Gegenverkehr kam und es keine oder nur eine schlechte Verkehrsregelung gab.

Auf der Übersichtskarte (Abbildung 5.10) konnte in der Tiefenlinie südwestlich von Waltenhofen ein weiteres stark verzweigtes Wegebündel auskartiert werden. Sowohl oberhalb, als auch unterhalb der in Abbildung 5.12 dargestellten Erosionsrinnen konnten jedoch keine weiteren Relikte von Hohlwegen gefunden werden, wodurch keine eindeutige Zuordnung zu einer Altstraße getroffen

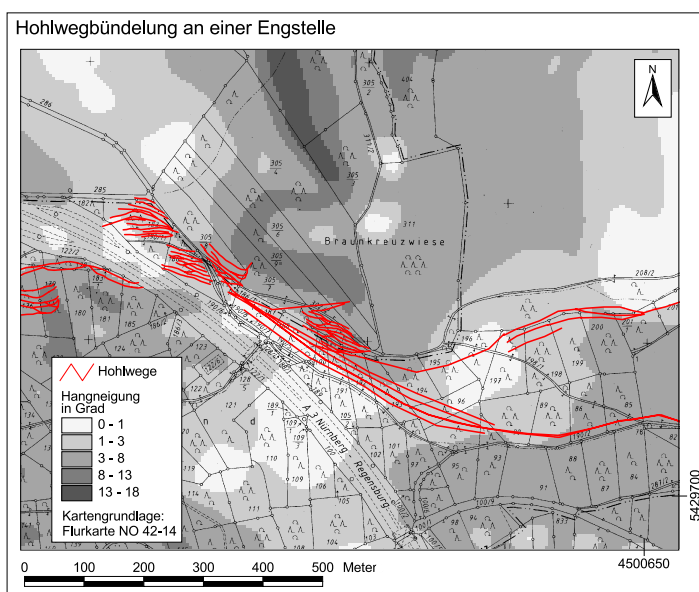


Abbildung 5.11: Bündelung von Hohlwegen an einer Engstelle

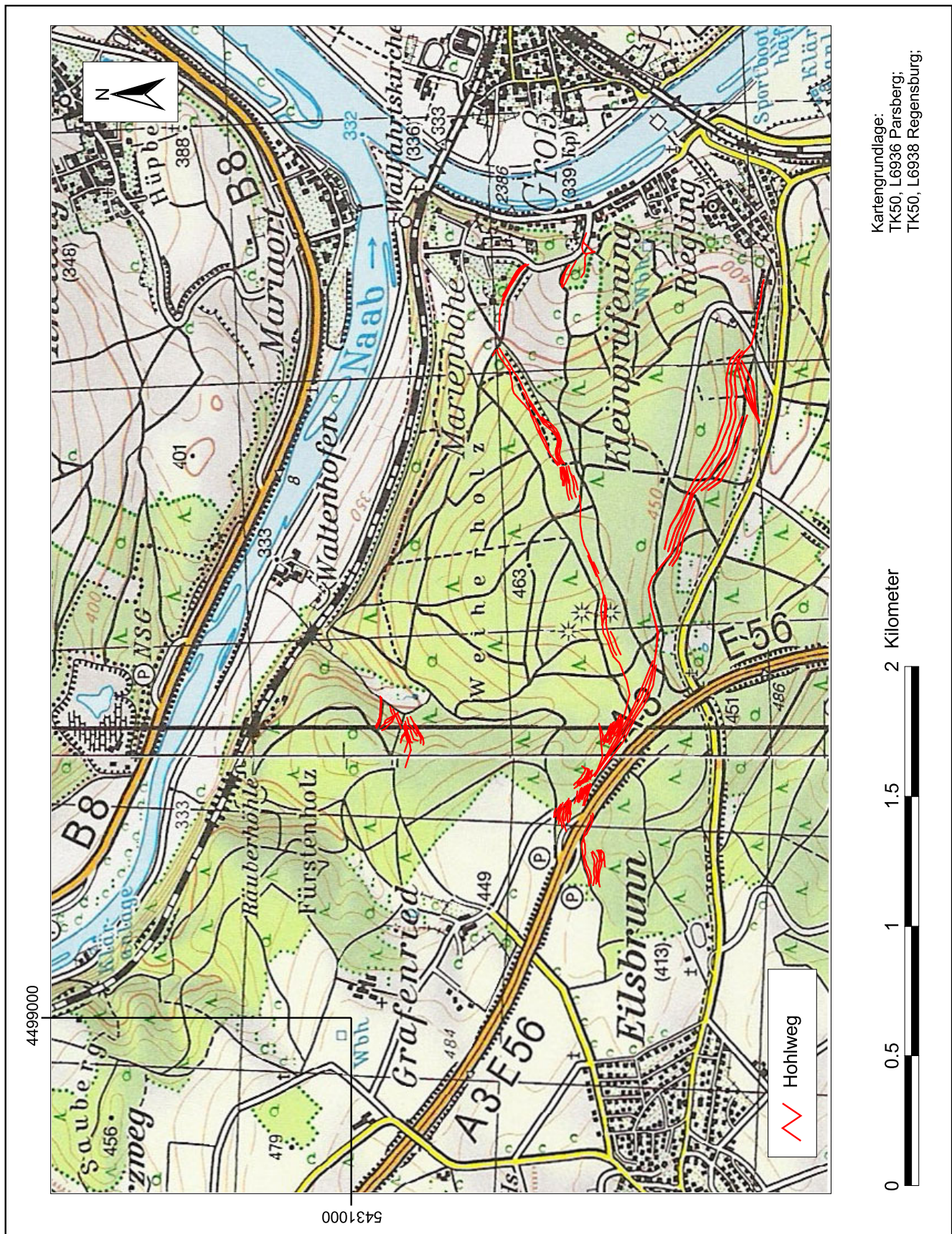


Abbildung 5.10: Übersichtskarte des Hohlwegsystems des Untersuchungsgebietes

werden kann. Da in diesem Bereich allerdings auch heute die Verbindungsstrecke von Waltenhofen nach Grafenried verläuft, ist eine Wegenutzung naheliegend.

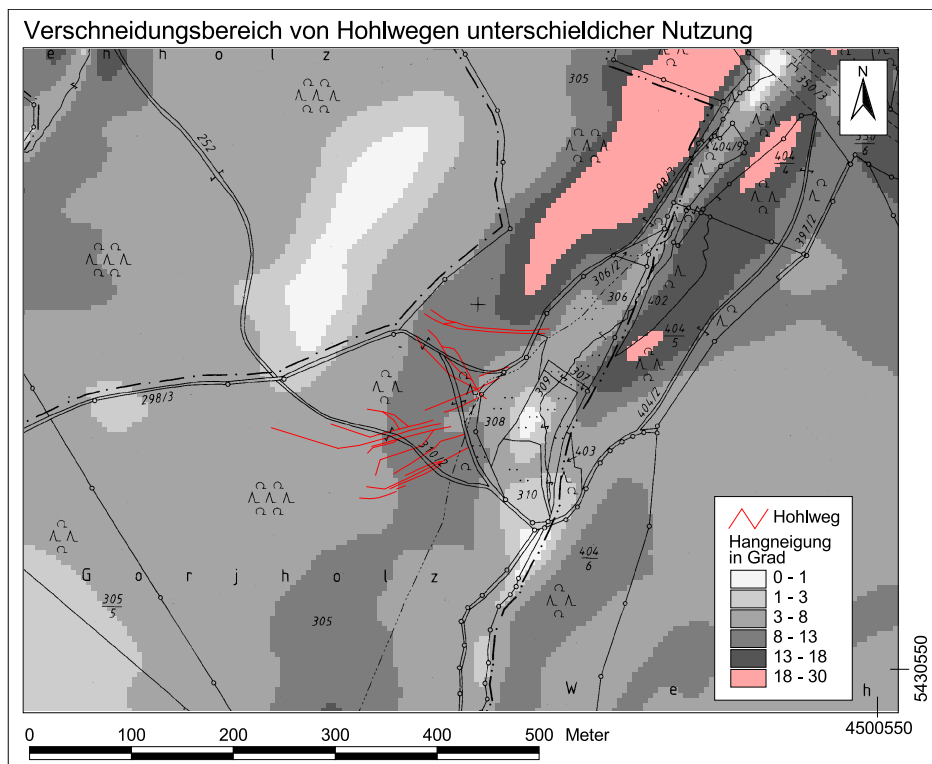


Abbildung 5.12: Wegebündel zwischen Grafenried und Waltenhofen

Die Anordnung einzelner Erosionsrinnen, die parallel in einen Holzschlag, hier dem Gorjholz, senkrecht zur größten Hangneigung verlaufen, lässt auf eine Nutzung der Trassen als Holztriftpfade schließen. Es kann abgeleitet werden, dass sich verlassene und genutzte Forstwege, Holztriftpfade, aber auch eine alte Wegverbindung zwischen Waltenhofen und Grafenried in diesem Bereich verschneiden und zu mehreren Metern tief ins Gelände eingeschnittenen Erosionsrinnen geführt haben. Eine exakte Trennung des jeweiligen Zweckes der Einzelspuren ist heute nicht mehr möglich. Es wird von einer Überlagerung verschiedener Nutzungen ausgegangen. Inwieweit die unterschiedliche Nutzung sich zeitlich überschneidet, ist mangels korrelater Sedimente und schriftlicher Quellen ebenfalls nicht zu rekonstruieren.

Insgesamt ist, wie Abbildung 5.10 zeigt, mit erhaltenen Hohlwegen nur dort zu rechnen,

wo keine landwirtschaftliche Nutzung betrieben wurde. Sowohl auf der Hochfläche, als auch im Bereich der Marienhöhe wären Wegspuren zu erwarten, die allerdings durch die Ackernutzung nivelliert worden sind.

Betrachtet man die Geologie, speziell die Lössverbreitung des Untersuchungsgebietes im Zusammenhang mit den Hohlwegen, so bekommt man bei der Betrachtung von Abbildung 5.13 den Eindruck, als würden im Untersuchungsgebiet lössbedeckte Bereiche gemieden werden, da in den Lössbereichen keine oder nur geringe Spuren hinterlassen wurden.

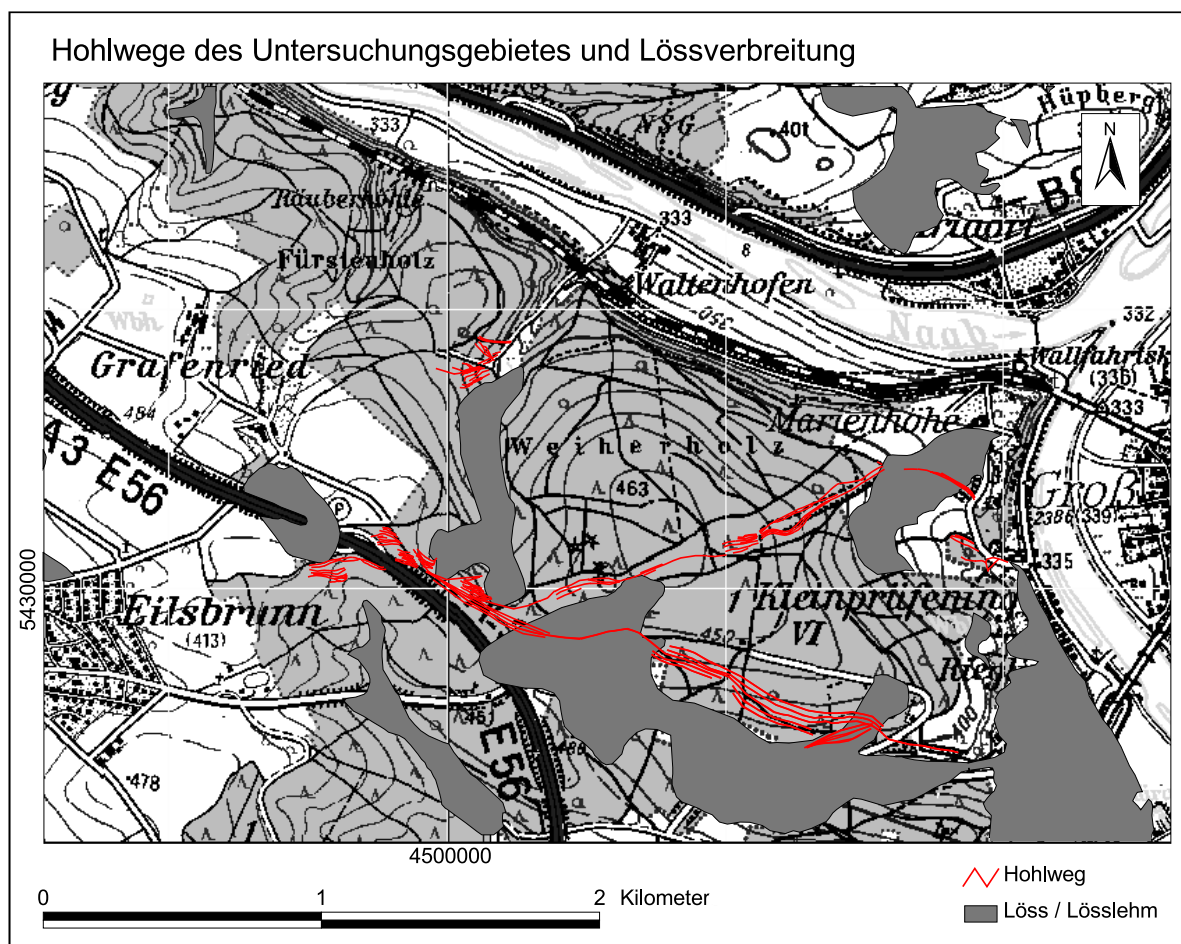


Abbildung 5.13: Verbreitung von Hohlwegen im Zusammenhang mit der Lössverbreitung

Am südlichen Wegebündel ist zu beobachten, dass in dem Lössareal kurz unterhalb des genannten Verschneidungsbereiches der Wege nur eine Hohlwegtrasse verläuft. Vor und

hinter dem Lössvorkommen konnten vier, bzw. fünf Fahrbahnen auskartiert werden. Der Grund für die fehlenden Erosionsrinnen ist jedoch nicht dadurch begründet, dass sich im Löss keine Hohlwege entwickelten, wie Studien unter anderem von SCHOTTMÜLLER (1961), HASSLER & HASSLER (1993) aus den Lössgebieten des Kraichgaus belegen. Vielmehr ist wie bei der vorliegenden Studie davon auszugehen, dass zwischenzeitlich auf diesen Flächen eine landwirtschaftliche Nutzung stattgefunden hat, die zur Beseitigung der Erosionsrinnen geführt hat. Hinweise dafür gibt z.B. die rezente landwirtschaftliche Nutzung in den südöstlichen Bereichen des Untersuchungsgebietes. Das Lössvorkommen, welches in der Tiefenlinie südwestlich von Waltenhofen zu finden ist, wird heute forstwirtschaftlich genutzt. Die Flurbezeichnung „Braunkreuzwiese“ sowie morphologisch den Wölbäckern ähnliche Spuren im Gelände deuten allerdings darauf hin, dass in früherer Zeit hier eine andere Nutzung vorgelegen hat. Diese ist als Ursache für das Fehlen von Hohlwegtrassen verantwortlich zu machen.

5.3 Erosionsbilanzierung

Eines der Ziele der vorliegenden Arbeit war die Bilanzierung der Bodenerosion durch Hohlwege im Untersuchungsgebiet. Wegen der großen zu bearbeitenden Fläche konnte nicht das gesamte Areal mit gleicher Intensität untersucht werden. Zunächst wurde an einem nahezu geschlossenen System eines Schwemmfächers und dessen Einzugsgebiet unter Einsatz eines breiten Methodenspektrums eine präzise Erosionsbilanzierung durchgeführt.

5.3.1 Detailuntersuchung an einem Schwemmfächer

Für die Erstellung der Erosionsbilanz am Schwemmfächer und dessen Einzugsgebiet wurden die Bereiche der Abtragung und die der Ablagerung gegenübergestellt. Um die Daten für Erosions- und Ablagerungsvolumen, bzw. -masse zu erhalten, wurden zunächst bodenkundliche Standardverfahren wie Bohrungen und Profilgruben angewandt. Anschließend sollte durch den Einsatz geophysikalischer Methoden das Ergebnis präzisiert

werden. Eine Übersicht über die Verortung der Befundaufnahmestellen ist in Abbildung 5.14 zusammengestellt.

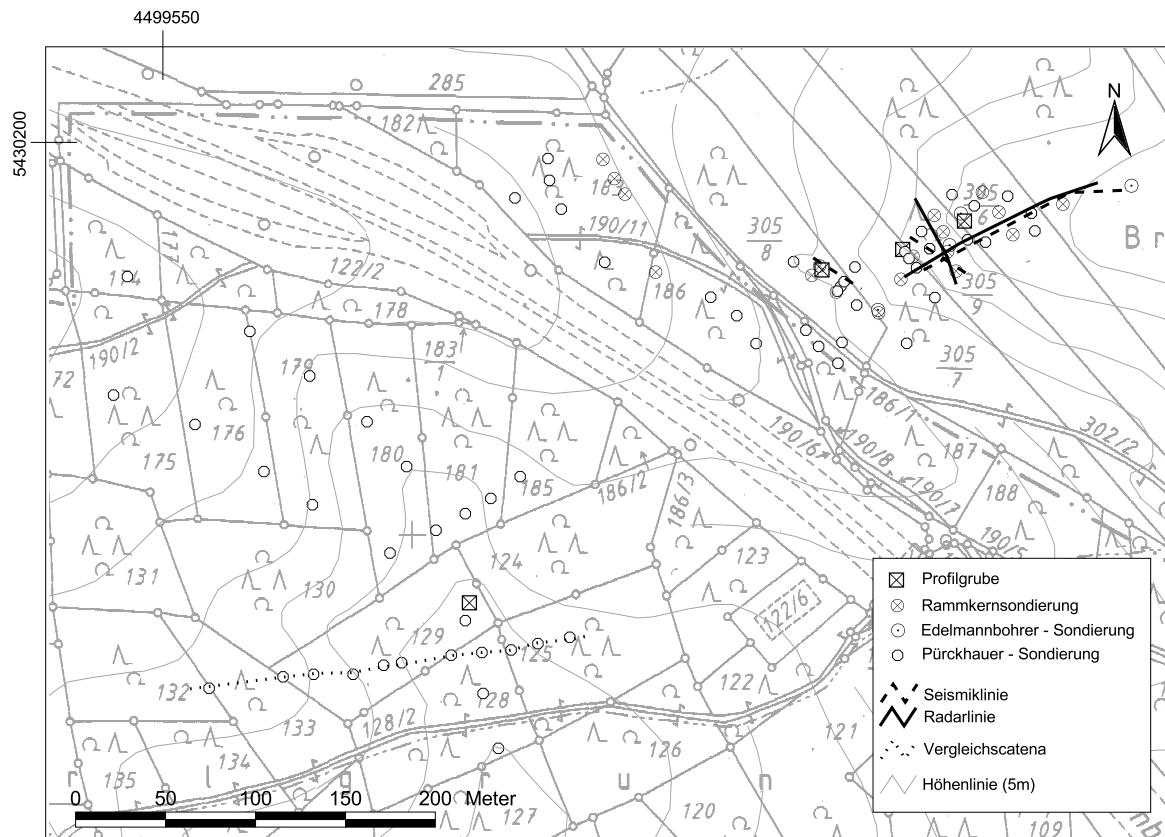


Abbildung 5.14: Lage der Profilgruben, Bohrungen, Vergleichscatena, Seismik- und Radarlinien

5.3.1.1 Repräsentative Bodenprofile aus dem Untersuchungsgebiet der Detailstudie

Für die Detailstudie wurden Bodenprofile aus dem Erosionsgebiet, dem Akkumulationsgebiet und einem benachbarten, möglichst ungestörten Gebiet betrachtet. Durch den direkten Vergleich dieser drei Bereiche lässt sich der Erosionsbetrag bzw. der Akkumulationsbetrag rekonstruieren. Sofern die verwendete Methode eine Beprobung zuließ, wurden Proben entnommen und im Labor ausgewertet. Neben Standardanalysen wur-

den tonmineralogische Untersuchungen durchgeführt, um den Feldbefund zu sichern und zu erweitern.

Vergleichscatena aus einem benachbarten Tal

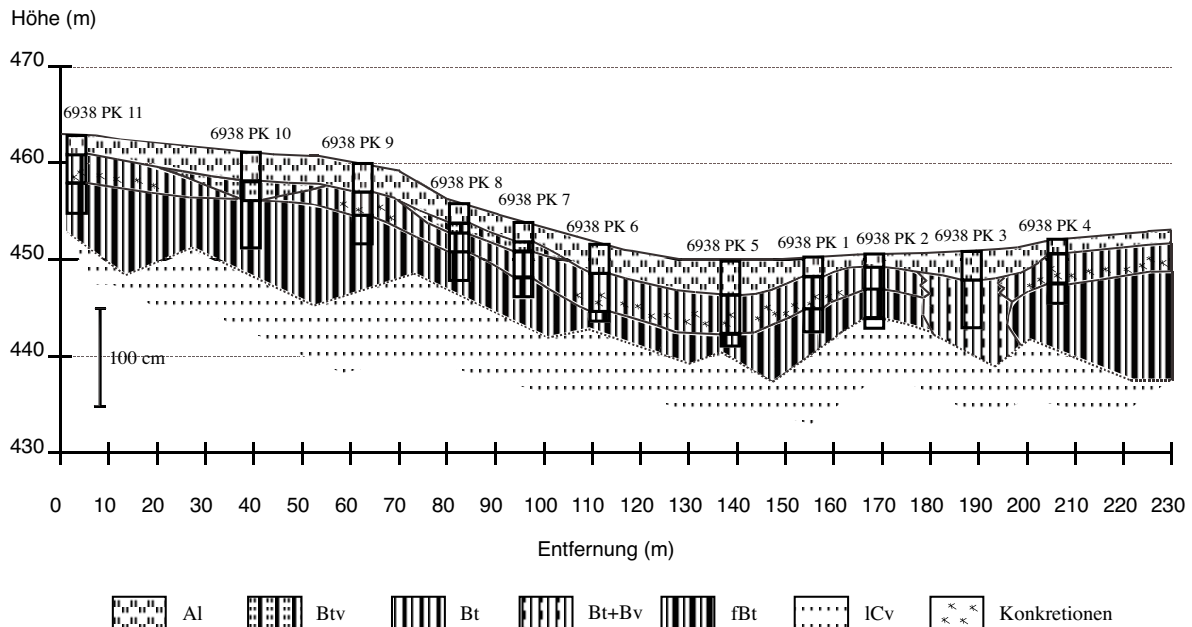


Abbildung 5.15: Vergleichscatena eines ungestörten Profils aus einem benachbarten Tal

Zunächst wurde in einem benachbarten Tal, südlich des Parkplatzes Grafenried der Autobahn A3, eine Catena gebohrt (vgl. Abbildung 5.15), welche den Bodenaufbau in einem Bereich mit gleichen Ausgangsbedingungen, jedoch ohne Beeinflussung von Hohlwegen repräsentiert. Da es in erster Linie um den Profilaufbau ging, wurde mit dem Pürckhauer gearbeitet. Das resultierende Profil, welches aus elf Einzelbefunden erstellt wurde, ist in Abbildung 5.15 dargestellt. Die zugehörigen Profilbeschreibungen finden sich im Anhang.

Die in der Vergleichscatena vorliegenden Böden sind mit einer Ausnahme durch einen Zweischichtaufbau gekennzeichnet. Unter einem maximal 35 cm mächtigen, in Hanglagen stellenweise nur 15 cm mächtigem Al-Horizont folgt ein Bt-Horizont. Örtlich ist

eine geringere Tonverlagerung festzustellen, so dass nur ein *Btv*-Horizont ausgebildet ist. Unterhalb des *Bt*-, bzw. des *Btv*-Horizontes befindet sich ab einer Tiefe von etwa 70 cm ein *fBt*-Horizont. Dieser konnte nur an einer Stelle durchbohrt werden, wo in 90 cm Tiefe ein *lCv*-Horizont erreicht wird. Aus diesem Einzelbefund ist keine generelle *fBt*-Mächtigkeit für das weitere Profil abzuleiten. Im Abschnitt von ca. 180 - 200 m haben sich *B(t/tv)*- und *fBt*-Horizont durch Kryoturbation vermischt, so dass hier keine weitere Horizontdifferenzierung mehr möglich ist.

Erosionsgebiet

Ein absolut ungestörtes Bodenprofil eines Klimaxbodens im Knollensandstein ist im Erosionsgebiet nicht mehr zu finden. Allerdings wurde durch mehrere Sondierungen mit dem Pürckhauer ein Standort ermittelt, an welchem ein weitgehend ungekapptes Bodenprofil zu finden ist. Das im Folgenden vorgestellte Bodenprofil (6938 Sg1) wurde durch den Anschnitt einer Hohlwegflanke freigelegt. Dabei wurde die Profilwand so weit zurückversetzt, bis die mit dem Bohrstock ermittelte maximale Mächtigkeit des *Al*-Horizontes erreicht wurde.

Die Böden auf der Albhochfläche im Knollensandstein weisen im Bereich des Erosionsgebietes in ihren obersten drei bis fünf Zentimeter eine Bleichung durch Humusauswaschung auf, woraus sich eine schwache bis mäßige Podsolierung (*Ahe*-Horizont) ergibt. Darunter befindet sich ein 15 cm mächtiger *Ael*-Horizont, welcher sich durch sehr hohe Schluffgehalte von >70 % aus-

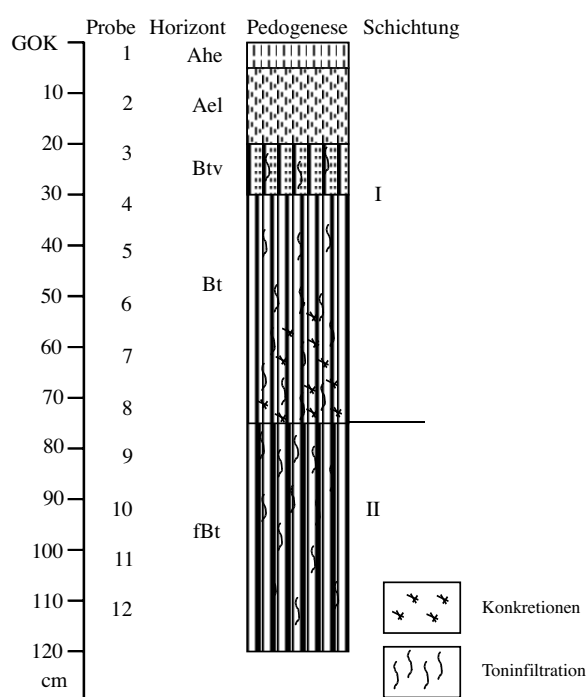
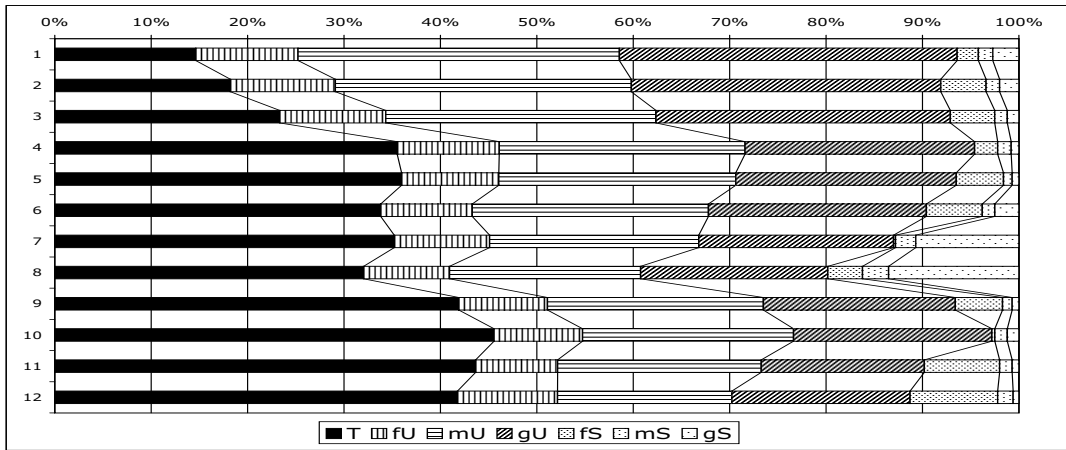


Abbildung 5.16: Profil 6938 Sg1- podsolierte Parabraunerde am Oberhang im Knollensandstein

zeichnet. Dabei dominieren die Grob- und Mittelschlufffraktion gegenüber der Feinschlufffraktion. Unterhalb des *Ael*- Horizontes ist ein *Btv*- Horizont mit deutlichen Spuren der Toneinwaschung in Form von Toncutanen zu finden, der jedoch gegenüber dem anschließenden *Bt*- Horizont noch deutlich geringere Tongehalte aufweist. Die Tonzunahme geht mit einer Schluffabnahme einher, wobei das Grob-, Mittel- und Feinschluffverhältnis unverändert bleibt. Des Weiteren ist der *Bt*- Horizont in einer Tiefe von 55 cm bis 70/75 cm durch eine deutliche Anreicherung von Eisen-Mangan-Konkretionen gekennzeichnet. Der *Bt*- Horizont ist nach unten scharf von einem *fBt*- Horizont abgegrenzt. Dieser ist frei von Eisen-Mangan-Ausfällungen und weist eine deutlich tonigere Matrix auf. Die bodenanalytischen Standardwerte, welche dies unterstützen, sind in Abbildung 5.17 und 5.18 zu finden.

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe	C %	org.S %	N %	C/N	Lagerungs- dichte (g/cm3)
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T										
1	Ahe	0-4	0,6	2,7	1,5	2,2	6,5	35,0	33,3	10,6	78,9	14,6	Ut3	3,4	-	7,5 YR 4/4	1,1	1,8	0,07	16	1,280	
2	Ael	10-14	1,1	2,0	1,4	4,7	8,1	32,1	30,7	10,9	73,7	18,2	Ut4	3,7	-	7,5 YR 4/4	0,5	0,8	0,04	12	1,280	
3	Btv	20-24	1,0	1,2	1,3	4,6	7,1	30,5	28,0	11,0	69,6	23,3	Ut4	3,6	-	7,5 YR 5/6	0,3	0,6	0,03	10	1,285	
4	Bt	32-36	0,3	0,8	1,4	2,4	4,6	23,8	25,5	10,6	59,9	35,5	Tu3	3,6	-	7,5 YR 5/6	0,3	0,5	0,04	7	1,382	
5	Bt	40-44	0,3	0,7	0,9	4,9	6,5	22,9	24,6	10,1	57,6	36,0	Tu3	3,7	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,3	0,03	6	1,496	
6	Bt	50-54	1,5	2,5	1,3	5,8	9,6	22,6	24,5	9,5	56,6	33,8	Tu3	3,9	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,3	0,03	7	1,688	
7	Bt	60-64	4,0	10,7	2,1	0,2	13,0	20,2	21,7	9,9	51,8	35,2	Tu3	4,3	-	10 YR 4/6	0,3	0,5	0,03	8	1,517	
8	Bt	70-74	8,6	13,5	2,7	3,6	19,9	19,4	19,8	8,9	48,1	32,0	Lt2	4,4	-	7,5 YR 4/6	0,2	0,4	0,03	8	1,665	
9	fBt	80-84	0,6	0,7	1,0	4,9	6,7	19,9	22,4	9,2	51,4	41,9	Tu3	4,1	-	7,5 YR 5/6	0,1	0,2	0,03	4	1,687	
10	fBt	90-94	1,0	1,2	1,3	0,3	2,8	20,6	21,9	9,2	51,6	45,6	Tu2	4,2	-	7,5 YR 5/6	0,1	0,2	0,03	4	1,689	
11	fBt	100-104	4,4	0,7	1,3	7,8	9,8	16,9	21,1	8,5	46,5	43,6	Lt3	4,2	-	7,5 YR 5/6	0,1	0,2	0,03	4	1,686	
12	fBt	110-114	-	0,6	1,6	9,1	11,3	18,5	18,1	10,4	46,9	41,8	Lt3	4,2	-	7,5 YR 5/6	0,1	0,2	0,03	4	1,686	

Abbildung 5.17: Bodenanalytische Standardwerte von Profil 6938 Sg1



Probentiefen siehe Abbildung 5.17

Abbildung 5.18: Korngrößenverteilung von Profil 6938 Sg1

Das Profil wurde zudem qualitativ bezüglich der tonmineralogischen Zusammensetzung untersucht. Ziel dabei war es, die Tonmineral-Garnitur der einzelnen Horizonte zu bestimmen. Daraus wird abgeleitet, wie weit die Bodenbildung in den jeweiligen Horizonten fortgeschritten ist. Im Folgenden wird aus *Ael*-, *Bt*- und *fBt*- Horizont exemplarisch ein Röntgendiffraktogramm vorgestellt.

Das erste Diagramm stammt von einer Probe (6938 Sg1/2) aus dem *Ael*- Horizont des in situ gebildeten Bodens.

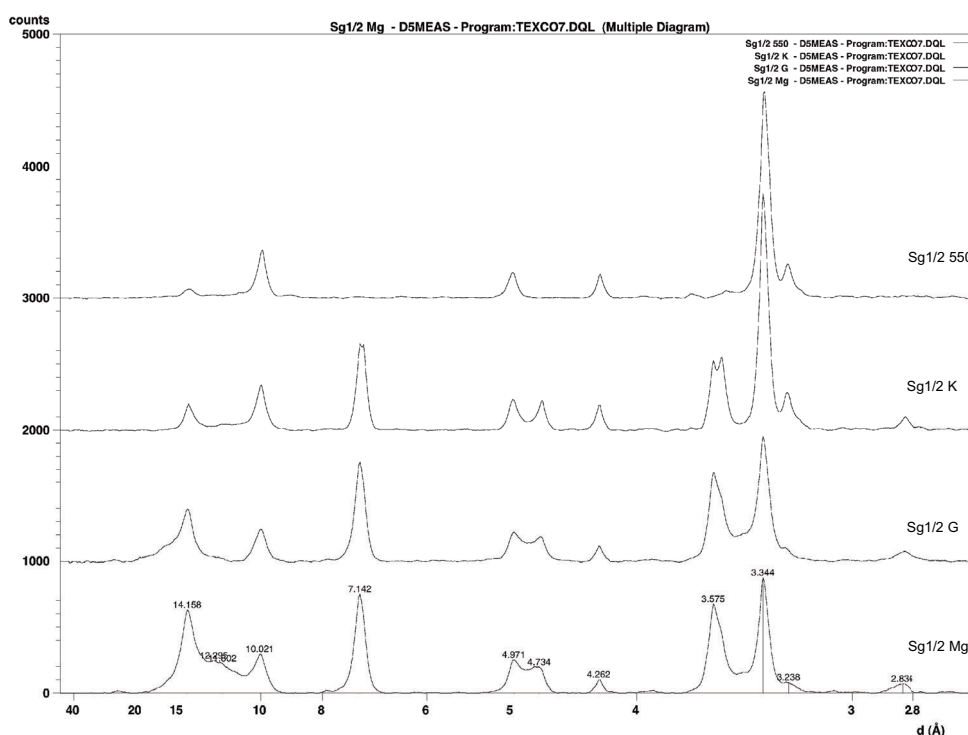


Abbildung 5.19: Röntgendiffraktogramme aus dem *Ael*- Horizont von Profil 6938 Sg1

Im Mg-Präparat sind die Peaks bei den Schichtabständen 14,2, 10,0 und 7,1 Å, die auf Chlorit, Illit und Kaolinit hinweisen, deutlich ausgeprägt. Die Kurvenausschläge im Bereich 10 bis 14 Å deuten auf Übergangsmminerale (Illit / Vermiculit) hin. Im Weitungspräparat (Sg1/2 G) ist eine leichte Veränderung dieser Peakwerte in Richtung größerer Schichtabstände zu beobachten, während im Kaliumpräparat (Sg1/2 K) eine Kontraktion gegen 10,0 Å zu erkennen ist. Weiterhin zeigt sich, dass im 14,2 Å Maximum weitere Tonminerale verschlüsselt sind. Im Kontraktionspräparat ist eine deutliche Intensitäts-

abnahme bei $14,2 \text{ \AA}$ und eine Vergrößerung der Fläche des $10,0 \text{ \AA}$ Peaks zu erkennen, was darauf schließen lässt, dass sich der vermiculitische Anteil auf $10,0 \text{ \AA}$ kontrahiert hat. Da nach Erhitzung der Probe (Sg1/2 550) bei $14,2 \text{ \AA}$ ein Maximum bestehen bleibt, die weiteren Chloritausschläge bei $4,7 \text{ \AA}$ und $3,5 \text{ \AA}$ (leichte Schulter im Magnesium-, sowie Glycerinpräparat) jedoch ausgelöscht werden, ist davon auszugehen, dass in diesem Kurvenabschnitt ein sekundärer Chlorit sowie ein Vermiculit dargestellt sind. Der Vermiculit wird zudem durch den Peak bei $3,238 \text{ \AA}$ im Kaliumpräparat bestätigt.

Betrachtet man das Röntgendiffraktogramm des *Bt*- Horizontes (Abbildung 5.20), so sind gewisse Unterschiede zu erkennen.

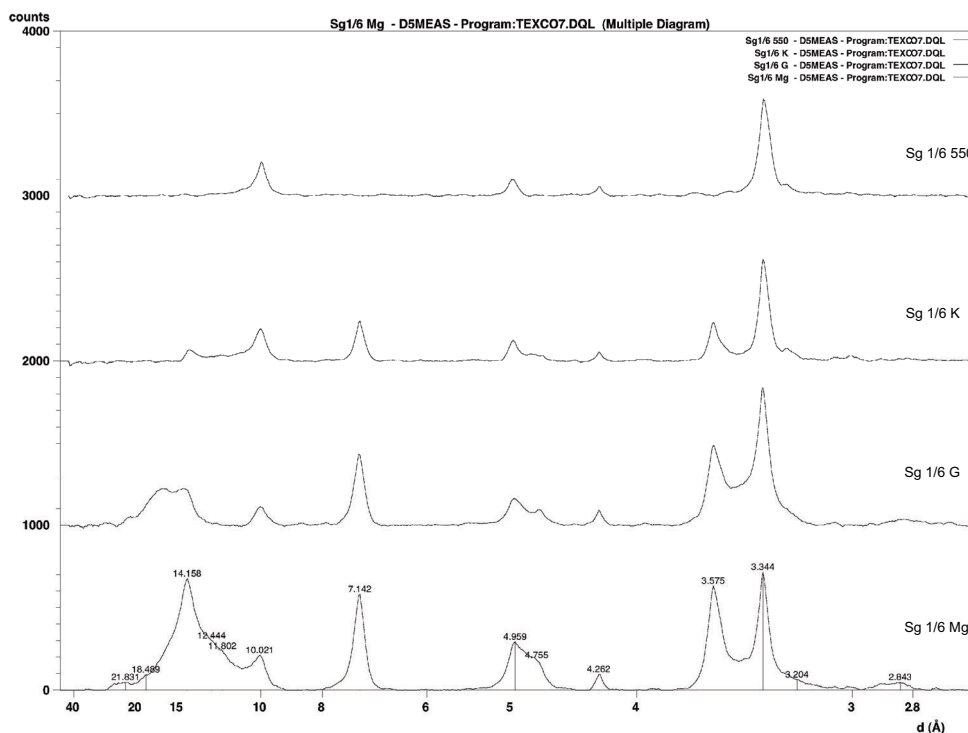


Abbildung 5.20: Röntgendiffraktogramme aus dem *Bt*- Horizont von Profil 6938 Sg1

Der Bereich zwischen 10 und 14 \AA beansprucht erkennbar mehr Fläche. Im Weitungspräparat (Sg1/6 G) lässt sich deutlich eine Verschiebung der im eben genannten Bereich integrierten Peaks auf ein Kurvenmaximum bei $16,5 \text{ \AA}$ erreichen. Die Kontraktion (Sg1/6 K) auf 12 bis 10 bzw. $9,9 \text{ \AA}$ durch Kaliumbelegung, bzw. Erhitzung deutet im

Gegensatz zum *Ael*-Horizont auf die Übergangsminerale Vermiculit / Smectit hin. Die Intensität der Chloritpeaks ist im Vergleich zum *Ael*-Horizont schwächer ausgeprägt.

Im Diagramm des *fBt*-Horizontes (Abbildung 5.21) lassen sich demgegenüber weitere Unterschiede erkennen.

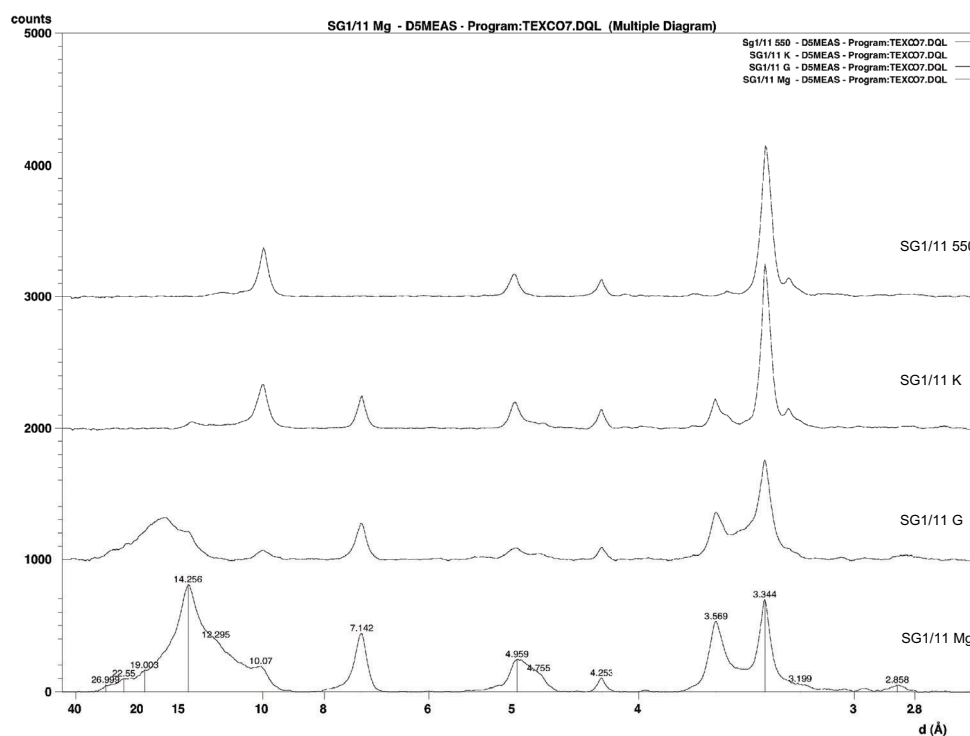


Abbildung 5.21: Röntgendiffraktogramme aus dem *fBt*-Horizont von Profil 6938 Sg1

Die Verteilung der Peakwerte des *fBt*-Horizontes deckt sich weitgehend mit jener des *Bt*-Horizontes. Vergleicht man jedoch die Intensitäten, so zeigen sich Unterschiede. Auffällig ist die geringere Ausprägung der Chloritpeaks. Betrachtet man das Verhältnis Illit / Chlorit bei den Schichtabständen 5,0 und 4,7 Å so tritt der Chlorit vom *Ael*-über den *Bt*- zum *fBt*-Horizont zunehmend zurück. Im vorliegenden Diagramm zeigt sich bei der geweiteten Probe (SG1/11 G) eine deutliche Aufweitung der Übergangsminerale mit Schichtabständen zwischen 10 und 14 Å zu einem breiten Peak mit einem Maximum bei 16,3 Å. In diesem Kurvenabschnitt wird die Entwicklung zum Smectit deutlich. Die Kontraktion auf 12 bis 10 Å im Kaliumpräparat (SG1/11 K) und die

weitere Verschiebung auf 9,9 Å durch Erhitzung, sowie der Peak bei 3,19 Å in der Mg-Kurve unterstützen dies.

Aus den Röntgendiffraktogrammen wird ersichtlich, dass vom *Ael*- Horizont über den *Bt*- Horizont hin zum *fBt*- Horizont eine zunehmende Entwicklung von Tonmineralen stattgefunden hat. Im *Ael*- Horizont sind aufweitbare Tonminerale nicht eindeutig nachzuweisen. Die tonmineralogische Zusammensetzung besteht aus Kaolinit, Illit, Übergangsm Mineralen (Illit / Vermiculit), Vermiculit und sekundärem Chlorit. Im *Bt*- Horizont kommt eine Komponente an mit Glycerin weitbaren Tonmineralen hinzu. Hierbei handelt es sich um Vermiculit / Smectit - Übergangsm Mineralen. Im *fBt*- Horizont ist der Peak um 14,2 Å der am signifikantesten ausgeprägte. Als Merkmal für eine weiter fortgeschrittene Entwicklung als im *Bt*- Horizont steht das Vorkommen von Smectit.

Anhand der oben beschriebenen feldbodenkundlichen und laboranalytischen Merkmale lässt sich die Genese von Profil 6938 Sg1 folgendermaßen beschreiben:

Als unterstes Glied des Profils liegt ein präwürmzeitlicher Horizont vor. Er ist mit Tongehalten von mehr als 40 % deutlich von den darüberliegenden Horizonten abgegrenzt. Im Zuge postglazialer Lössinwehung hat sich am Standort Würmlöss abgelagert und durch Verbraunung ist eine Braunerde entstanden. Nach Wegführung des Carbonates hat eine vertikale Tonverlagerung eingesetzt, wodurch eine Differenzierung des *Bv*- Horizontes in *Al*- und *Bt*- Horizont begonnen hat. Zwischen den genannten Horizonten ist ein etwa zehn Zentimeter mächtiger *Btv*- Horizont ausgeprägt, welcher bereits morphologisch erkennbar mit Ton angereichert ist, jedoch zum *Al*- Horizont eine geringere Tongehaltsdifferenz aufweist, als zum *Bt*- Horizont. Durch das basenarme Milieu, hat nicht nur eine Tonverlagerung, sondern auch eine Verlagerung der pedogenen Oxide eingesetzt, so dass sich der *Al*- Horizont in *Ahe*- und *Ael*- Horizonte ausdifferenziert hat. Der fossilisierte Boden hat durch seine hohen Tongehalte und seine hohe Lagerungsdichte wasserstauende Eigenschaften. Dadurch kommt es zu einer bandförmigen Ausfällung von Eisen - Mangan - Konkretionen oberhalb der Schichtgrenze. Über die Grenze *Bt* -

fBt sind keine bodenbildenden Prozesse abgelaufen.

Das Profil 6938 Sg1 dient zusammen mit der Vergleichscatena als Referenzprofil bezüglich der Horizontmächtigkeiten für die aus Bohrungen gewonnen, durch Erosion verkürzten Bodenprofile. Auch die Lagerungsdichtebestimmungen wurden an diesem Profil durchgeführt.

Akkumulationsgebiet

Im Akkumulationsgebiet haben sich die durch Bodenerosion verlagerten Sedimente in Form eines Schwemmfächers abgelagert. Als Bodentyp ergibt sich nach AG BODEN (1994) ein Kolluvisol mit einem *Ah/M/II*...- Profilaufbau, bei Staunäseeinfluss ein Pseudogley-Kolluvisol mit einer *Ah/M(Sw-M)/M-Sw/II(Sw/Sd)* Horizontabfolge. Das Profil 6938 Sg2 zeigt einen Pseudogley-Kolluvisol der sich auf dem Schwemmfächer entwickelt hat.

Durch die aufgewachsene Vegetation hat eine Humusanreicherung in den oberen fünf Zentimetern stattgefunden. Bis in eine Tiefe von 30 Zentimetern findet man die einheitlich lehmige Bodenmatrix eines Kolluviums (*M1*), mit deutlichem Skelettanteil. Darunter befindet sich ein weiteres

Kolluvium (*M2*) aus einer anderen Ablagerungsphase. Dieses ist nach oben und unten durch eine Lage von Grobgrus und kantigen Steinen aus Knollensandstein vom vertikal benachbarten Material abgegrenzt. Unterhalb von 75 cm schließt ein drittes Kolluvium (*M3*) an. Dieses ist von der Körnung gegenüber dem tonigeren *M2* wieder vergleichbar

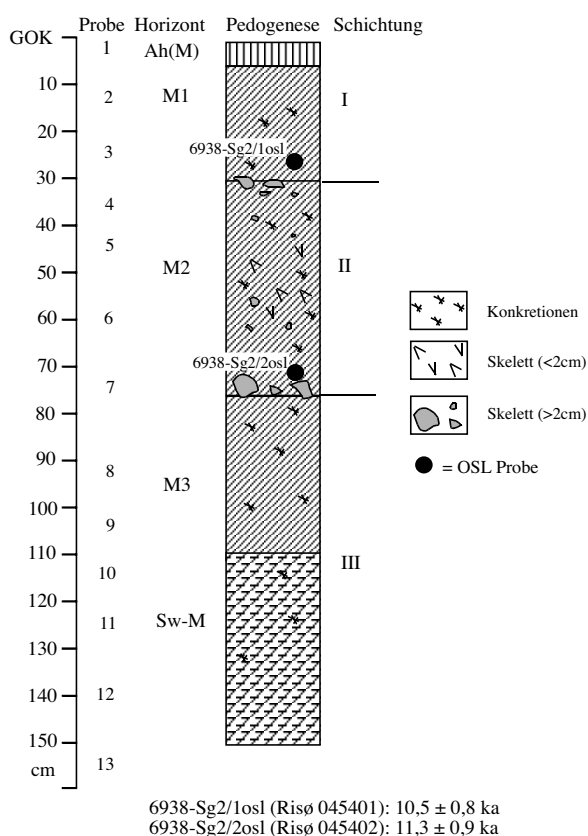
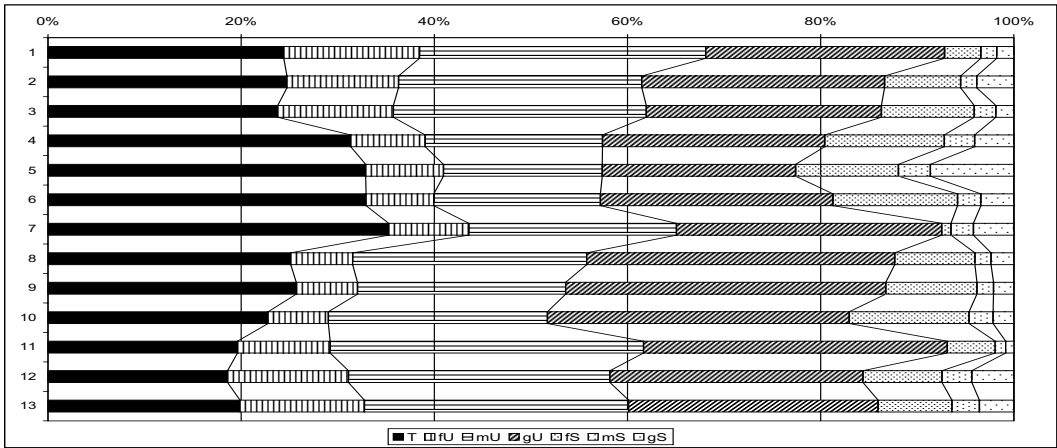


Abbildung 5.22: Profil 6938 Sg2 – Pseudogley - Kolluvisol

mit *M1*. Ab einer Tiefe von etwa 110 cm macht sich durch Rostflecken und Marmorierung Stauwassereinfluss bemerkbar (*Sw – M*). Die bodenanalytischen Standardwerte von Profil 6938 Sg2, die dies unterstützen, sind in Abbildung 5.24 sowie Abbildung 5.23 zusammengestellt.

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n G e w. %									Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe	C %	org.S %	N %	C/N	Lagerungs- dichte (g/cm3)
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T									
1	Ah(M)	0-5	5,2	1,8	1,6	3,8	7,2	24,7	29,6	14,1	68,4	24,4	Ut4	3,3	-	10 YR 3/4	2,0	3,4	0,13	15	1,248
2	M1	10-20	7,6	3,8	1,7	7,9	13,4	25,1	25,2	11,6	61,9	24,7	Lu	3,5	-	7,5 YR 5/6	0,6	1,0	0,04	14	1,172
3	M1	20-30	2,9	1,9	2,2	9,6	13,7	24,3	26,2	12,0	62,5	23,8	Lu	3,7	-	10 YR 4/6	0,8	1,4	0,07	13	1,415
4	M2	30-40	27,5	4,1	3,1	12,4	19,6	23,0	18,4	7,7	49,1	31,3	Lt2	3,7	-	7,5 YR 5/6	0,3	0,6	0,04	10	1,545
5	M2	40-50	13,5	8,7	3,3	10,6	22,6	20,0	16,4	8,1	44,5	32,9	Lt2	4,3	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	9	1,541
6	M2	55-65	6,4	3,4	2,4	12,9	18,7	24,1	17,3	7,0	48,3	32,9	Lt2	4,4	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,3	0,03	7	1,603
7	M2	70-75	4,3	4,2	2,3	0,9	7,4	27,5	21,5	8,3	57,3	35,3	Tu3	4,4	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,3	0,03	6	1,593
8	M3	90-95	1,4	2,4	1,7	8,3	12,3	31,9	24,2	6,4	62,5	25,1	Lu	4,5	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,3	0,02	7	1,580
9	M3	100-110	1,9	2,1	1,7	9,4	13,3	33,1	21,5	6,3	61,0	25,7	Lu	4,5	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	8	n.b.
10	Sw-M3	110-120	0,5	2,1	2,5	12,4	17,0	31,2	22,7	6,2	60,2	22,8	Lu	4,5	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,3	0,02	10	n.b.
11	Sw-M3	120-130	0,5	0,8	1,1	5,0	6,9	31,5	32,4	9,6	73,5	19,6	Ut4	4,5	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,3	0,02	9	1,582
12	Sw-M3	135-145	2,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	4,4	-	10 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	8	n.b.
13	Sw-M3	150-160	6,2	3,6	2,8	7,7	14,1	25,8	27,4	12,9	66,1	19,9	Ut4	4,2	-	10 YR 5/6	0,3	0,5	0,07	4	1,597

Abbildung 5.23: Bodenanalytische Standardwerte von Profil 6938 Sg2



Probentiefen siehe Abbildung 5.23

Abbildung 5.24: Korngrößenverteilung von Profil 6938 Sg2

Um eine weitere Charakterisierung der Kolluvien *M1*, *M2* und *M3* vorzunehmen, wurde mit dem Röntgendiffraktometer die tonmineralogische Garnitur bestimmt. Das Ziel dabei ist, Verbindungen zwischen Liefergebiet und Ablagerungsgebiet herzustellen. Nach dem Prinzip der korrelierten Sedimente ist zu erwarten, dass sich das *Ael*-Material des Liefergebietes in tieferen Bereichen des Profils 6938 Sg2 wiederfinden lässt. Im oberen Abschnitt des Kolluvisols müsste das *Bt*- , *fBt*-, oder das in Profil 6938 Sg1 nicht erreichte *Cv/lCv*-Material nachweisbar sein.

Die Probe für die Röntgenuntersuchung des Kolluviums *M1* wurde aus einer Tiefe von 10 bis 20 cm entnommen. Das resultierende Diffraktogramm ist in Abbildung 5.25 dargestellt:

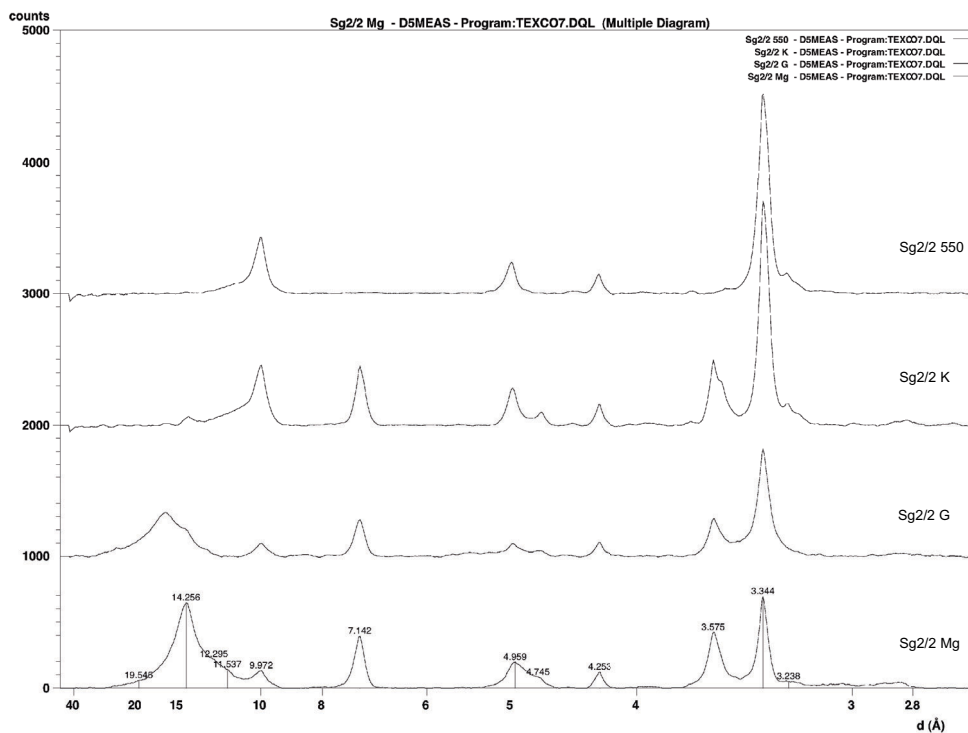


Abbildung 5.25: Röntgendiffraktogramme des Kolluviums *M1*

Die deutlichsten Peaks des Mg - Präparates (Sg2/2 Mg) liegen beim Chlorit/Vermiculit/Smectit ($\sim 14,2 \text{ \AA}$) , Illit ($\sim 10,0 \text{ \AA}$) und Kaolinit ($\sim 7,14 \text{ \AA}$). Der Kurvenverlauf zwischen 10 und 14 \AA weist durch die Aufweitbarkeit mit Glycerin (Sg2/2 G) in den Bereich $14 - 18 \text{ \AA}$ auf Übergangsminerale Vermiculit / Smectit hin. Der vermiculitische

Bestandteil wird durch den Kurvenausschlag bei 3,238 Å bestätigt. Der Smectit ist im Diagramm nicht eindeutig nachweisbar. Da im Kaliumpräparat (Sg2/2 K) der ~ 14 Å Peak erhalten bleibt und im Erhitzungspräparat (Sg2/2 550) die Intensität gegen Null geht, wird die Präsenz eines sekundären Chlorits bestätigt.

Betrachtet man die Reflexionskurven der Probe 6938 Sg2-5 des Kolluviums *M2* (Abbildung 5.26), so ist festzustellen, dass die tonmineralogische Zusammensetzung jener von Kolluvium *M1* entspricht.

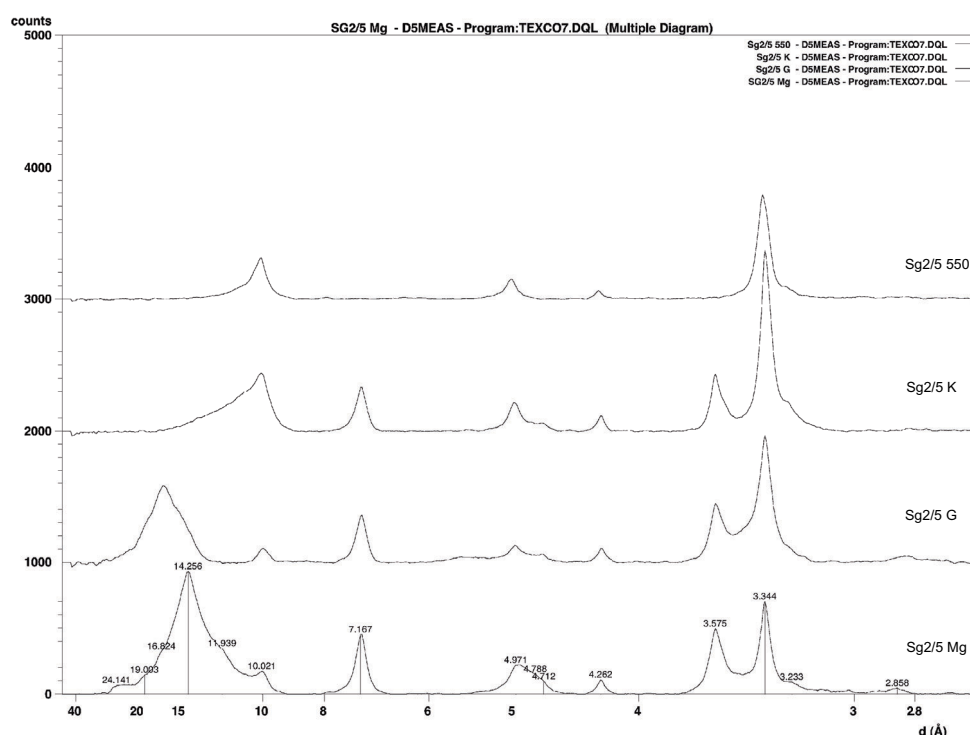


Abbildung 5.26: Röntgendiffraktogramme des Kolluviums *M2*

Im untersten Kolluvium *M3* (Abbildung 5.27) aus welchem Probe 6938 Sg2-12 stammt, sind ebenfalls sekundärer Chlorit, Illit und Kaolinit deutlich vertreten. Betrachtet man den Kurvenabschnitt zwischen 10 und 14 Å, ist zu beobachten, dass sich durch Glycerin- weitung (Sg2/12 G) eine Verschiebung der Reflexe Richtung 14 Å erreichen lässt, aber kaum darüber hinaus. Im Kaliumpräparat ist eine Verlagerung der Kurve vom 14 Å

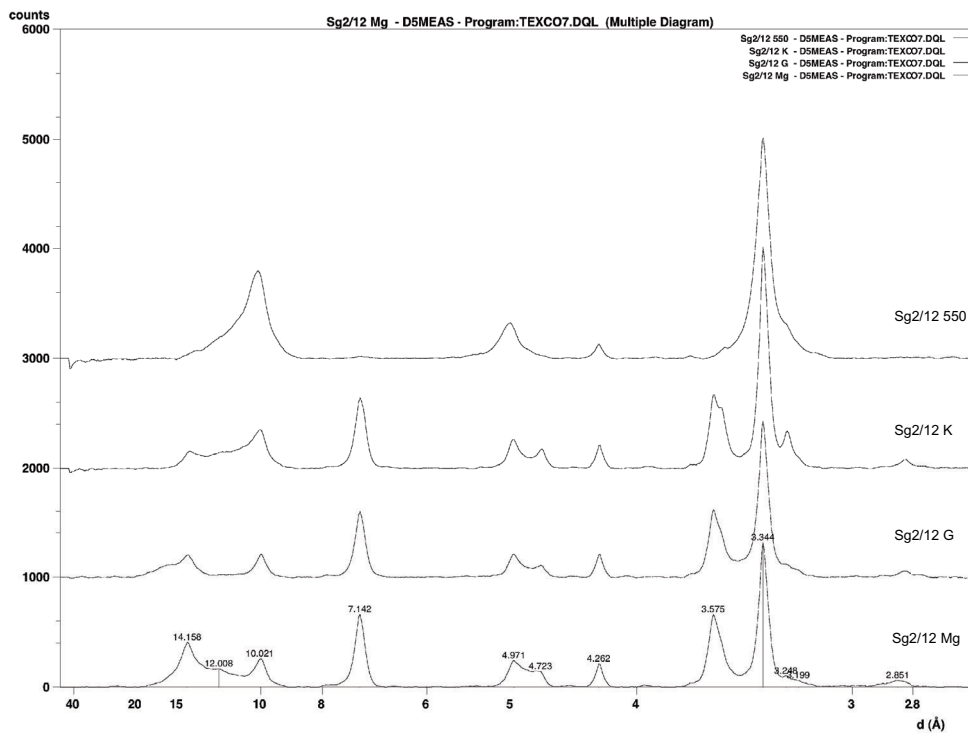


Abbildung 5.27: Röntgendiffraktogramme des Kolluviums *M3*

Peak zu 12 - 10 Å zu beobachten. In Kombination mit dem schwachen Reflex bei 3,19 Å bedeutet dies, dass eine smectitische Komponente vorhanden ist, die vermiculitischen und illitischen Anteile dominieren jedoch.

Vergleicht man die drei Kolluvien (*M1*, *M2*, *M3*), so fällt auf, dass die beiden oberen (*M1*, *M2*) durch eine fortgeschrittenere Bodenentwicklung gekennzeichnet sind. Während die Tonmineralentwicklung im *M3* nur bis zum Vermiculit reicht, sind in den anderen Profilabschnitten Smectite vertreten.

Stellt man die Diffraktogramme des Liefergebietes (Profil 6938 Sg1) den Diagrammen des Ablagerungsgebietes (Profil 6938 Sg2) gegenüber, wird deutlich, dass ein enger Zusammenhang zwischen den Substraten besteht. Die Garnitur an Tonmineralen ist in beiden Profilen weitgehend identisch. Je nach Entwicklungsgrad sind Smectit und Ver-

miculit, bzw. nur Vermiculit vertreten. Weiterhin ist zu erkennen, dass die Zusammensetzung der Tonfraktion des *Ael*-Horizontes von Profil 6938 Sg1 mit jener von *M3* des Profils 6938 Sg2 übereinstimmt. Gleiches gilt für die Zusammensetzung von *fBt* (Profil 6938 Sg1) und *M1* (Profil 6938 Sg2). Daraus ergibt sich, dass zunächst das Bodenmaterial der erodierten *Ael*-Horizonte als Basis des Schwemmfächers abgelagert wurde. Darauf folgt eine zweigliedrige Schicht, die aus Material von unterschiedlichen erodierten Horizonten besteht. Die im Profil 6938 Sg2 genannten Steinlagen stammen aus im Erosionsgebiet anstehendem Knollensandstein. Durch mechanische Auflockerung konnte das Festgestein mobilisiert und abtransportiert werden. Eine Ruhephase zwischen einzelnen Erosionsereignissen lässt sich im Profil nicht ableiten. Um ein absolutes Alter zu ermitteln, wurden zwei OSL - Datierungen am Profil durchgeführt. Probe 6938 Sg2/1osl ergab dabei ein Alter von $10,5 \pm 0,8$ ka (Risø 045401), Probe 6938 Sg2/2osl ein Alter von $11,3 \pm 0,9$ ka (Risø 045402). Die Befunde der Datierungen werden in Kapitel 7 kritisch zu beurteilen sein.

Das Bodenprofil 6938 Sg2 ist als Referenzprofil für die Bohrungen auf dem Schwemmfächer anzusehen. Die Lagerungsdichtebestimmungen für die Erosionsbilanzierung wurden an diesem Profil durchgeführt. Um den gesamten Schwemmfächerkörper dreidimensional zu erfassen wurden weitere Bohrungen und Sondierungen durchgeführt.

5.3.1.2 Refraktionsseismik

Um, ausgehend vom Referenzprofil 6938 Sg2 und den Bohrungen, die Untergrenze des Schwemmfächerkörpers zu erfassen, wurde die Refraktionsseismik eingesetzt, wodurch zwischen den Punktdaten Liniendaten erhalten werden sollten. Die Lage der einzelnen Seismiklinien ist aus Abbildung 5.28 zu entnehmen. Zunächst wurde mit einem einfachen Verfahren geprüft, ob die Zielhorizonte erfasst werden können, und welche Geschwindigkeiten in den unterschiedlichen Horizonten vorliegen.

Im ersten Schritt wurde abseits des Schwemmfächers eine Linie gemessen. Diese dient dazu, die Materialeigenschaften, wie sie unter dem Schwemmfächer erwartet werden,

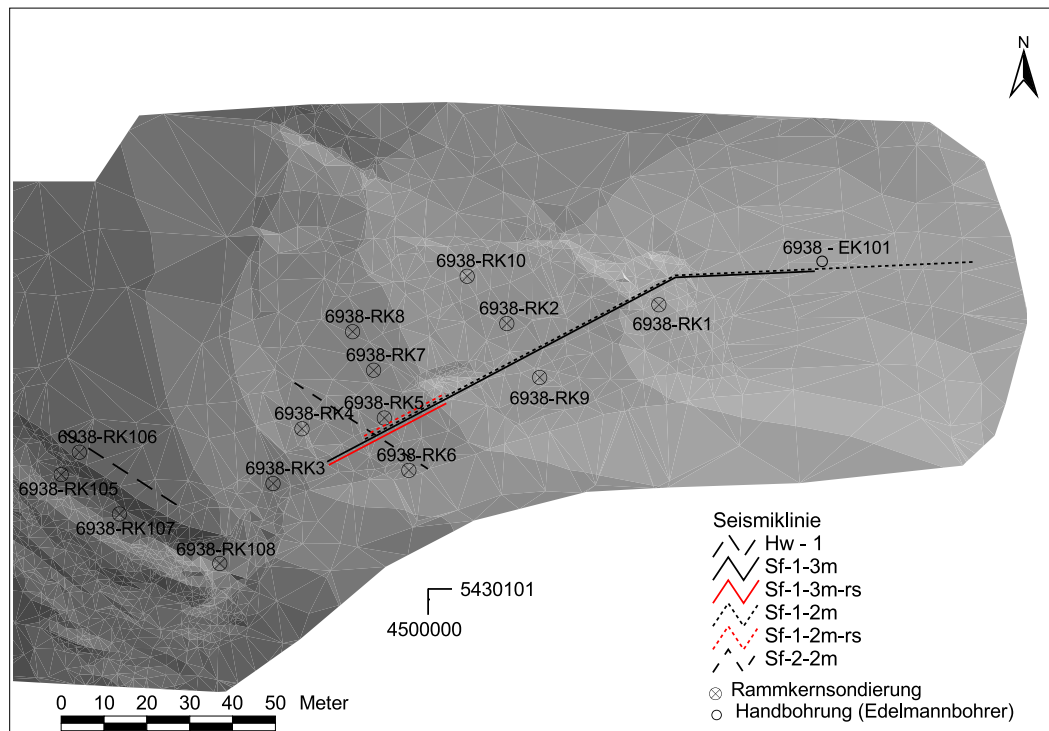


Abbildung 5.28: Lage der Refraktionsseismiklinien

zu erkunden. Als Referenzbodenprofil kann das Profil 6938 Sg1 angesehen werden. Das erste Geophon befand sich etwa fünf Meter entfernt von der genannten Profilgrube. In Abbildung 5.29 sind die Ergebnisse der refraktionsseismischen Messung dargestellt.

Aus dem Refraktionsseismikprofil einer Parabraunerde im Knollensandstein lassen sich drei Geschwindigkeiten ermitteln. Die Oberflächengeschwindigkeit mit 289 m/s, ein Refraktor in etwa einem Meter Tiefe mit 703 m/s und ein Refraktor in ca. 5,7 m Tiefe mit 1678 m/s. Für diese Fragestellung liegt das Augenmerk auf der ersten Refraktorlinie. Aus der Vergleichsbohrung 6938 - RK 106 konnte ermittelt werden, dass in einer Tiefe von 75 cm die Schichtgrenze zwischen *Bt*- und *fBt*- Horizont liegt. Daraus ergibt sich, dass die Refraktorlinie, die mit einer Geschwindigkeit von 703 m/s angegeben wird, die genannte Grenze markiert. Die Disparität zwischen der seismisch ermittelten Tiefe des Refraktors und der durch die Bohrung festgestellten Tiefe ist darauf zurückzuführen, dass man davon ausgehen muss, dass der Schichtwechsel entlang der gemessenen Seismiklinie nicht exakt oberflächenparallel verläuft. Die verwendete Software RefractSolve verarbei-

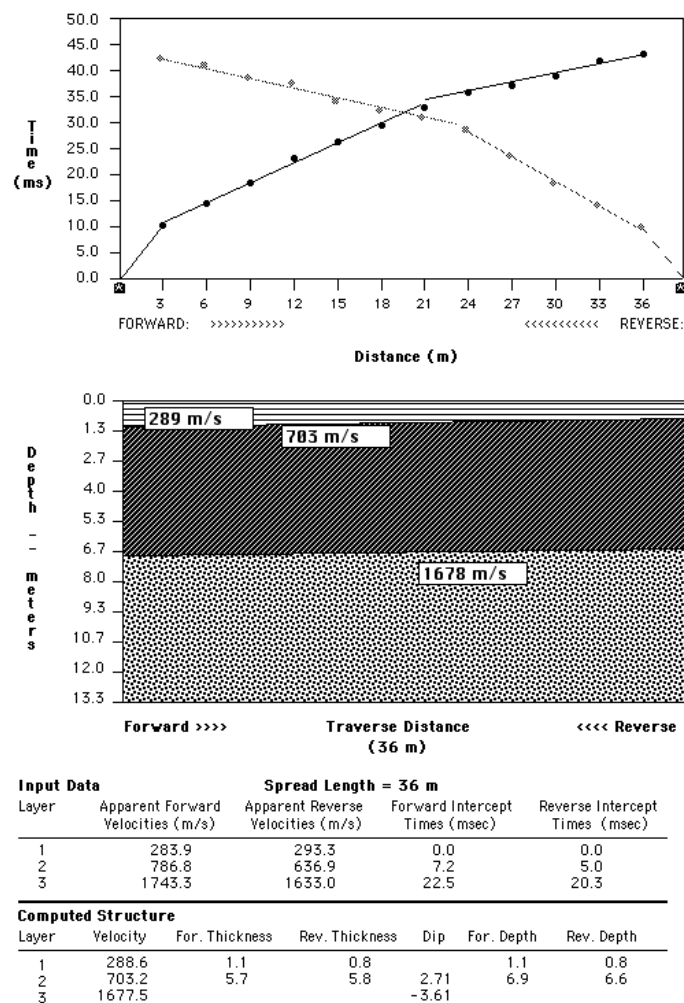


Abbildung 5.29: Profil der Seismiklinie Hw - 1 – Auswertung mit RefractSolve; Bodentyp: Parabraunerde

tet nur zwei Schusspunkte, Schuss und Gegenschuss, wodurch eine gerade Refraktorlinie mit Neigung generiert wird. Unebenheiten des Schichtwechsels werden dadurch nicht dargestellt. Zudem ist bei der Rammkernsondierung von einer Stauchung von einigen Zentimetern auszugehen, wodurch die Grenze zwischen *Bt*- und *fBt*-Horizont in zu geringer Tiefe angegeben wird. Insgesamt kann aber davon ausgegangen werden, dass der Schichtwechsel durch die Refraktionsseismik erkannt wird.

Die eben beschriebene Voruntersuchung signalisiert die Anwendbarkeit der Refraktionsseismik für die geplanten bodenkundlichen Untersuchungen. Zunächst wurde mit gleicher

aus den feldbodenkundlichen Untersuchungen in Einklang zu bringen. Die Schichtgrenze zwischen Kolluvium und Liegendem, die durch die Bohrung 6938 RK 5 (Daten siehe Anhang) in 205 cm Tiefe ermittelt wurde, konnte mit der Refraktionsseismik und dem gewählten Auswertungsverfahren nicht detektiert werden.

In einem weiteren Ansatz wurde im Programmpaket ReflexWin mit dem „Wavefront-inversion - Verfahren“ die Struktur der Untergrenze des Schwemmfächers modelliert. In Abbildung 5.31 ist das mit ReflexWin erstellte Profil dargestellt.

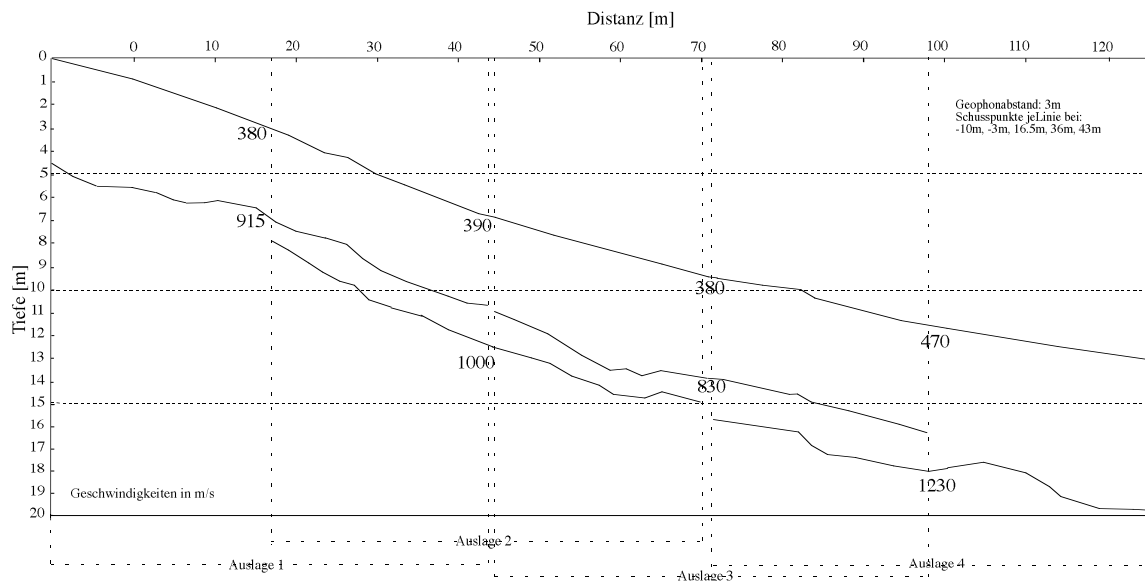


Abbildung 5.31: Seismikprofil Sf-1-3m – Auswertung mit ReflexWin

Der Profilschnitt zeigt eine etwa 3,0 bis 4,5 Meter mächtige Schicht mit Wellengeschwindigkeiten zwischen 830 und 915 m/s, die nicht näher aufgelöst werden kann. Etwa 1,0 bis 2,0 Meter tiefer ist ein Übergang zu höheren Geschwindigkeiten von 1000 bis 1230 m/s festzustellen. Die genaue Mächtigkeit des Kolluviums konnte jedoch mit dem Verfahren der „Wavefront-inversion“ und der gewählten Gerätekonfiguration nicht ermittelt werden.

In einem weiteren Versuch wurde mit einer anderen Gerätekonfiguration gearbeitet. Der Geophonabstand wurde von 3,0 auf 2,0 Meter verkürzt. Hierdurch wurde versucht, geringe Geschwindigkeitsunterschiede in den oberen drei Metern des Bodens auf Kosten

der Eindringtiefe aufzulösen. Zunächst wurde ein Ausschnitt der Daten wieder durch das einfache Modell von RefractSolve dargestellt (siehe Abbildung 5.32).

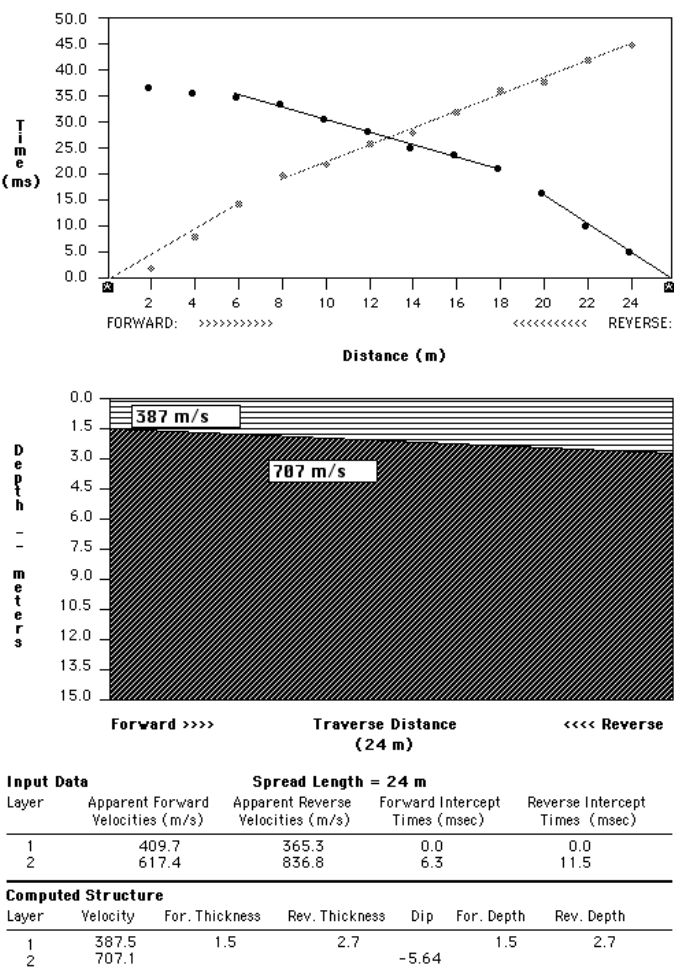


Abbildung 5.32: Seismikprofil Sf-1-2m-rs – Auswertung mit RefractSolve

Es wird deutlich, dass gegenüber der ersten Gerätekonfiguration eine erhöhte Auflösung erreicht wird. In 1,5 bis 2,7 Meter konnte ein Refraktor mit einer Geschwindigkeit von 707 m/s erfasst werden. Die Geschwindigkeit dieser Schichtgrenze deckt sich mit jener aus Seismiklinie Hw - 1 und kann daher als plausibel betrachtet werden. Vergleicht man das Model mit den Daten der nächstgelegenen Bohrung (6938 RK 5), passt auch die modellierte Schichtmächtigkeit zu der Mächtigkeit des Kolluviums. Mit dem „Wavefront-

inversion - Verfahren“ wurde in ReflexWin das Gesamtprofil des Schwemmfächers mit dem geänderten Geräteaufbau erneut modelliert. Das Profil ist in Abbildung 5.33 dargestellt.

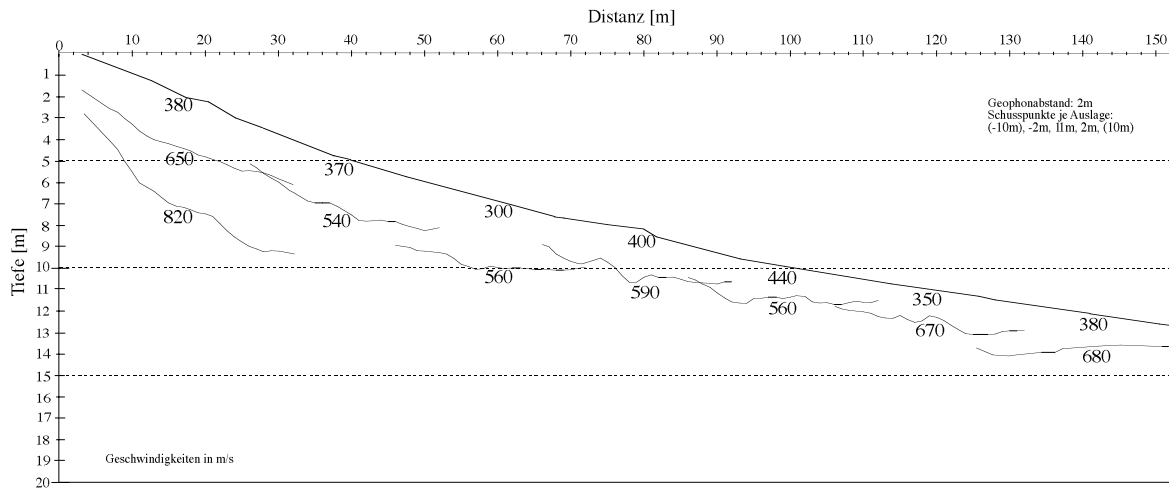


Abbildung 5.33: Seismikprofil Sf-1-2m – Auswertung mit ReflexWin

Über die gesamte Profillänge konnte in einer Tiefe von etwa zwei Metern ein Refraktor mit einer Geschwindigkeit von 540 bis 680 m/s detektiert werden. Die Schwankung der ermittelten Geschwindigkeiten ist durch Inhomogenitäten im Schwemmfächerkörper zu erklären. Aber auch dadurch, dass die Geophonauslage zur Erstellung des Gesamtprofils verlegt werden musste und der Geophonabstand wegen der Verwendung eines Maßbandes, welches Bodenunebenheiten zu einem gewissen Grad nachzeichnet, nicht zentimetergenau eingehalten werden konnte. Die Bohrung 6938 RK 5 bestätigt bei Profildistanz 6 m den Schichtwechsel in 2 m Tiefe. Bei der Distanz von ca. 44 m liegen die Bohrungen 6938 RK 2 und 6938 RK 9 in Nachbarschaft. Aus dem Seismikprofil ergibt sich an dieser Stelle eine Kolluviummächtigkeit von etwa 2 Metern. Die Bohrungen lassen eine Mächtigkeit zwischen 1,9 (6938 RK 2) und 1,2 (6938 RK 9) Meter erwarten. Im Profilschnitt bei 75 m beträgt die Refraktortiefe 1,5 m. Durch das etwa vier Meter seitlich versetzte Referenzprofil 6938 RK 1 kann eine Kolluviumuntergrenze in 1,29 Meter Tiefe bestätigt werden. Betrachtet man den weiteren Verlauf des Seismikprofils, so

lässt sich ein Ausstreichen der durch den Refraktor nachgezeichneten Schicht bei einer Distanz von ca. 120 m konstruieren. Überträgt man das Profil ins Gelände, so ist die Stirn des Schwemmfächers bei einer Distanz von 85 m anzusetzen. Dies steht im Widerspruch zu den anderen Übereinstimmungen zwischen Seismikprofil und Bohrungen. Es stellt sich die Frage, ob man mit der Seismik tatsächlich das Kolluvium erfassen konnte, oder ob eventuell ein Tiefengradient der Geschwindigkeiten vorliegt und nur zufällig die Untergrenze des Kolluviums „getroffen“ wurde!

Betrachtet man die Daten von Bohrung 6938 EK 101, die bei Profilmeter 120 abgeteuft wurde, wird deutlich, dass die Refraktionsseismik die Grenze zwischen *Bv*- und *lCv*-Horizont erfasst hat. Sowohl im Schwemmfächerbereich, als auch darunter hat die Seismik den Zielhorizont erfassen können. Eine horizontale Abgrenzung von Schwemmfächerkörper und nativem Boden ist jedoch nicht möglich. Stellt man die Substrate von Schwemmfächer und nativem Boden gegenüber, so wird deutlich, dass erwartungsgemäß beide sehr ähnliche Bodenarten aufweisen. Hierin ist die Begründung zu sehen, weshalb man das Kolluvium nicht horizontal vom benachbarten Boden abgrenzen kann. Das gleiche Problem tritt bei Seismikprofil Sf 2-2m auf, welches deshalb hier nicht weiter erläutert, sondern nur im Anhang dokumentiert wird.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass die vertikale Erfassung des Kolluviums mit der Refraktionsseismik und einem Geophonabstand von zwei Metern möglich ist. Die Abgrenzung des Kolluviums zu benachbarten Böden ist am bearbeiteten Standort allerdings nicht möglich, da die vorliegenden Substrate in ihrer Zusammensetzung zu ähnlich sind.

5.3.1.3 Georadar

Um von den punktuell vorliegenden Untergrunddaten der Bohrungen lückenlose Profillinien zu erhalten, wurde neben der Refraktionsseismik auch das Bodenradar eingesetzt. Hierfür wurden zwei Linien auf dem Schwemmfächerkörper bearbeitet. Beide Messstrecken wurden mit 100 MHz, 200 MHz und 500 MHz - Antennen gemessen. Die Lage der Profile ist aus Abbildung 5.34 zu entnehmen.

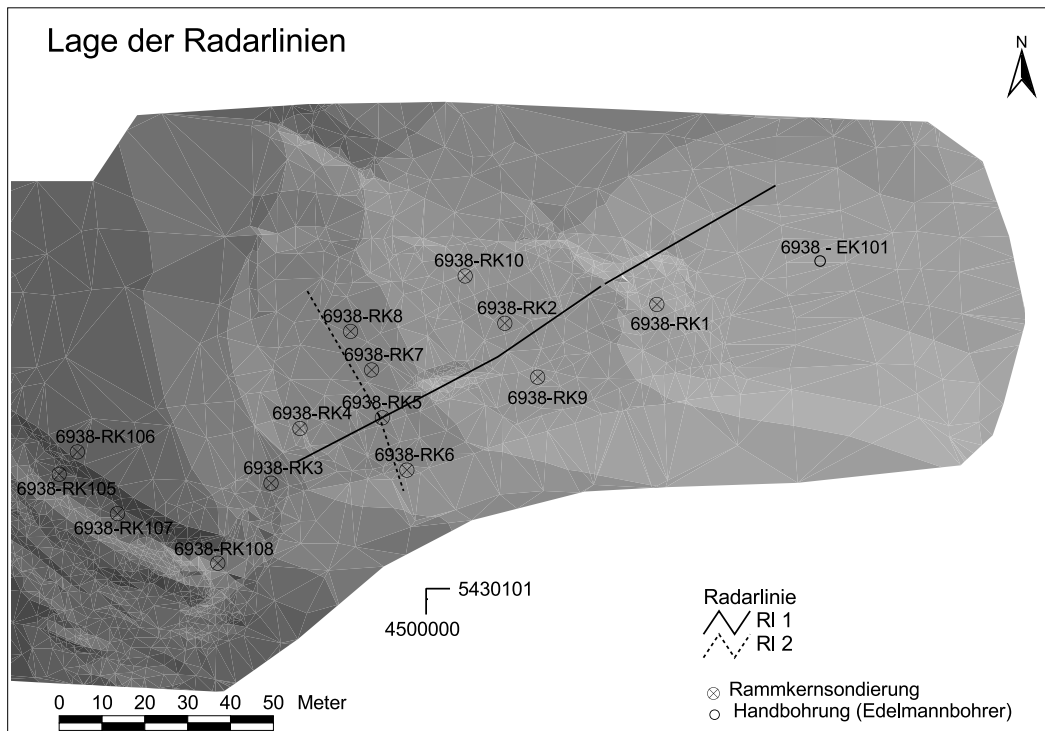


Abbildung 5.34: Lage der Radarlinien

Zunächst wurde die 100 MHz - Antenne verwendet, welche die größte Eindringtiefe der verwendeten Konfigurationen besitzt und Linie RI 1 aufgezeichnet. Betrachtet man das Radargramm auf Abbildung 5.35 oben, so erkennt man, dass das Radarsignal eine maximale Eindringtiefe von ca. 2,5 m erreicht (markierte Zone). Durch Bohrungen wurde bereits bestätigt, dass die Untergrenze des *M*- Horizontes in diesem Bereich zu finden ist. Betrachtet man die Kolluviummächtigkeiten, die aus den Bohrungen ermittelt wurden, zusammen mit dem Radargramm, so sind Parallelen zu erkennen. Das Radarbild ist jedoch zu ‚unscharf‘, als dass man sicher die Grenze zwischen Schwemmfächerkörper und Liegendem ziehen kann. Dass die gesuchte Grenze nahezu mit der Eindringtiefe des Georadars zusammenfällt, kann durch die Änderung der Materialeigenschaften bezüglich der elektromagnetischen Wellen erklärt werden. Der Kontrast, d.h. die Änderung der Dielektrizitätszahl an der Grenzschicht ist jedoch nur gering, wodurch im Radarbild keine klare Schichtgrenze definierbar ist. Zudem handelt es sich bei der Grenzschicht um eine Verwitterungszone, welche zum Hangenden und Liegenden einen graduellen Übergang

darstellt, was die Materialeigenschaften angeht. Betrachtet man das Radargramm im Abschnitt von 105 bis 120 m, so erkennt man, dass in den oberen 50 cm eine zusätzliche Schicht sichtbar wird (Linie). Da bei 107 m die Schwemmfächerfront liegt, ist dies von besonderem Interesse. Es bedeutet, dass sich das Bodenmaterial des Kolluviums in seinen elektromagnetischen Eigenschaften vom benachbarten *Al*-, bzw. *Bv*-Material unterscheidet.

Ein weiteres Ziel der Radaruntersuchungen war es, Strukturen im Inneren des Schwemmfächerkörpers zu detektieren. Aus Profilgrube 6938-Sg 2 sind zwei skelettreiche Bänder mit zum Teil größeren Klasten bekannt, die zumindest teilweise auch in den Bohrungen 6938 RK 1-10 nachgewiesen werden konnten. Sie sind in einer Tiefe kleiner 1 Meter verortet. Da mit einer Antennenfrequenz von 100 MHz diese wegen ihrer geringen Mächtigkeit nicht zu erfassen sind, wurde das gleiche Profil mit 200 und 500 MHz gemessen. In Abbildung 5.35 Mitte ist das Ergebnis der 200 MHz - Messung dargestellt. Es präsentiert sich ein Diagramm, welches starke Störungen aufweist. Durch Parallelmessungen sowie einer Geräteüberprüfung ist sichergestellt, dass kein technischer Defekt seitens des Gerätes dafür verantwortlich ist. Ab einer Tiefe von 1 m sind nur noch mit großer Signalverstärkung schwache Reflexe im Radargramm zu erkennen. Diese sind jedoch zu undeutlich, um sie für Interpretationszwecke verwenden zu können. Im Profilabschnitt 105 bis 113 m ist auch bei 200 MHz die Front des Schwemmfächers zu erkennen.

Die stark verminderte Qualität des Radargramms wird auf Störungen an der Erdoberfläche zurückgeführt. Es ist zu beachten, dass die verwendeten 200 MHz - Antennen nicht abgeschirmt sind und in alle Richtungen gleich stark senden, bzw. aus allen Richtungen Signale empfangen. Der Einsatzort des Gerätes lag in einem dichten Mischwald, mit ausgeprägter Bodenvegetation. Dies bedeutet, dass auch Reflexe von Bäumen, sowie der Bodenvegetation im Radarbild enthalten sind und das Signal aus dem Boden überlagern. Die 200 MHz - Antenne scheint gegenüber der ebenfalls nicht abgeschirmten 100 MHz - Antenne wesentlich empfindlicher auf Störfaktoren an der Oberfläche zu reagieren.

In einem weiteren Versuch wurde die gleiche Linie mit der abgeschirmten 500MHz - Antenne aufgenommen. Das Radarbild ist in Abbildung 5.35 (unten), dargestellt. Die

Eindringtiefe des Signals mit der 500 Mhz - Antenne erreicht ca. 0,5 m. Zumindest das obere skelettreiche Band liegt somit innerhalb der „Reichweite“ der Messung. Betrachtet man die Aufzeichnung, sind jedoch keine Reflexe zu erkennen, die das je nach Standort 10-15 cm mächtige Band nachzeichnen. Der unruhige Kurvenverlauf in der Tiefe von 0,3 bis 0,4 m ist nicht auf ein Signal im Boden zurückzuführen, sondern auf die „gain“-Funktion im Datenaufbereitungsprozess, die einen Sprung in der Signalverstärkung bei 10 ns verursacht.

Die Untergrenze des Schwemmfächerkörpers konnte mit dem Georadar und der 100 MHz - Antenne erfasst werden. Wegen der ungünstigen Materialeigenschaften der Grenzschicht bleibt die Genauigkeit jedoch hinter den Erwartungen zurück. Horizontal konnte der Übergang von Kolluvium zum nativen Boden sichtbar gemacht werden. Um eventuelle verfüllte Rinnenstrukturen sichtbar zu machen, wurde eine zweite Radarlinie senkrecht zur ersten gemessen. Diese Radarlinie (Abbildung 5.34, Rl 2) erfasst zwei Randbereiche des Schwemmfächerkörpers. Das Ziel war es, die seitlich unter das Kolluvium abtauchenden Schichten zu erfassen um sie über die gesamte Profillänge zu verfolgen.

In der Radarlinie Rl 2 (Abbildung 5.36, 100 MHz), Abschnitt von 4 - 10 m, ist deutlich das Abtauchen einer Schicht zu erkennen (gestrichelte Linie). Auf eine Strecke von etwa 10 m lässt sie sich im Untergrund verfolgen, bis sie sich bei Profilmeter 30 teilt. Verfolgt man den oberen Ast, so verläuft dieser auf den folgenden 15 m oberflächenparallel, bis er Richtung Oberfläche abknickt.

Eine weitere Schicht (durchgezogene Linie) lässt sich im Radarbild interpretieren. Ein Indiz, dass es sich hierbei um einen Schichtwechsel handeln muss, ist das Streusignal, welches unterhalb der eingetragenen Linie einsetzt. Demgegenüber steht oberhalb der Grenzlinie ein regelmäßiges Radarsignal.

Belegt durch die Ergebnisse der Bohrungen 6938 RK 5 und 6938 RK 7 wird die untere Schichtgrenze (gestrichelte Linie) als Signal des *lCv*- Horizontes interpretiert. Dabei handelt es sich jedoch nicht um dessen Obergrenze, sondern einen Bereich in der Verwitterungszone, welcher durch Änderung der Materialeigenschaften für diese Reflexe im Radargramm sorgt. Die obere Linie stellt die Untergrenze des Kolluviums dar, wie den

Bohrungen 6938 RK 5 und 6938 RK 7 zu entnehmen ist. Bohrung 6938 RK 8 passt wegen ihrer zu geringen Mächtigkeit des *M*-Horizontes zunächst nicht in das Radargramm. Die Ursache hierfür kann in der geringen Mächtigkeit der kolluvialen Ablagerungen liegen, so dass diese nicht im Radargramm aufgelöst werden. Aber auch stark ähnliche elektromagnetische Eigenschaften von Kolluvium und benachbartem Material können zu einem mangelnden Signal im Radargramm geführt haben. Da das Radarbild im Bereich von 44 - 48 m nicht eindeutig ist, ist der Abgleich zwischen Bohrbefund (6938 RK 6) und Geophysik mit Unsicherheit behaftet.

Zwei weitere Bereiche, durch Ovale gekennzeichnet, sind im Radarbild auffällig. Hier ist ein vertikaler Versatz des Radarreflexes zu erkennen. Die Ursache hierfür ist in Materialien mit unterschiedlichen Wellengeschwindigkeiten zu sehen. Für die mit „A“ markierte Zone kann dies bedeuten, dass es sich hierbei um die Grenze zwischen Kolluvium und *Bv*-, bzw. *Bt*-Horizont handelt. Wäre dies der Fall, so würde sich das Radarergebnis im Bereich von Bohrung 6938 RK 8 stark an den Bohrbefund annähern. Klärung des Problems sollte der Einsatz höher frequenter Antennen bringen (Abbildung 5.36 Mitte und unten). Zusätzliche Informationen konnten dadurch jedoch nicht gewonnen werden. Mit den 500 MHz - Antennen war die Eindringtiefe des Signals zu gering. Die 200 MHz - Antennen lieferten keine zusätzlichen Schichtgrenzen. Das stark gestörte Radarbild bei Profilmeter 16 ist auf einen Baum oder dessen Wurzel zurückzuführen. Auch die 100 MHz - Antennen haben, wenn auch weitaus geringer, ebenfalls auf die gleiche Störquelle reagiert.

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass das Georadar in dieser Arbeit bei für diese Methode schwierigen Bedingungen eingesetzt wurde. Schichten stark ähnlichen Substrates, mit entsprechend ähnlichen Dielektrizitätszahlen sollten voneinander getrennt werden. Zudem musste mit erheblicher Signalabschwächung wegen hoher Tongehalte umgegangen werden. Das Georadar lieferte nicht wie geplant lückenlose Untergrundinformation, sondern nur abschnittsweise hinsichtlich der Kolluvienmächtigkeiten interpretierbare Daten. Mit dem 100 MHz - Antennenset konnten die Zielhorizonte erfasst werden. Um den Interpretationsspielraum zu verkleinern, sind zusätzliche Untergrundinformationen, welche z.B. aus Bohrungen zu gewinnen sind, unerlässlich.

Radarlinie Rl 1

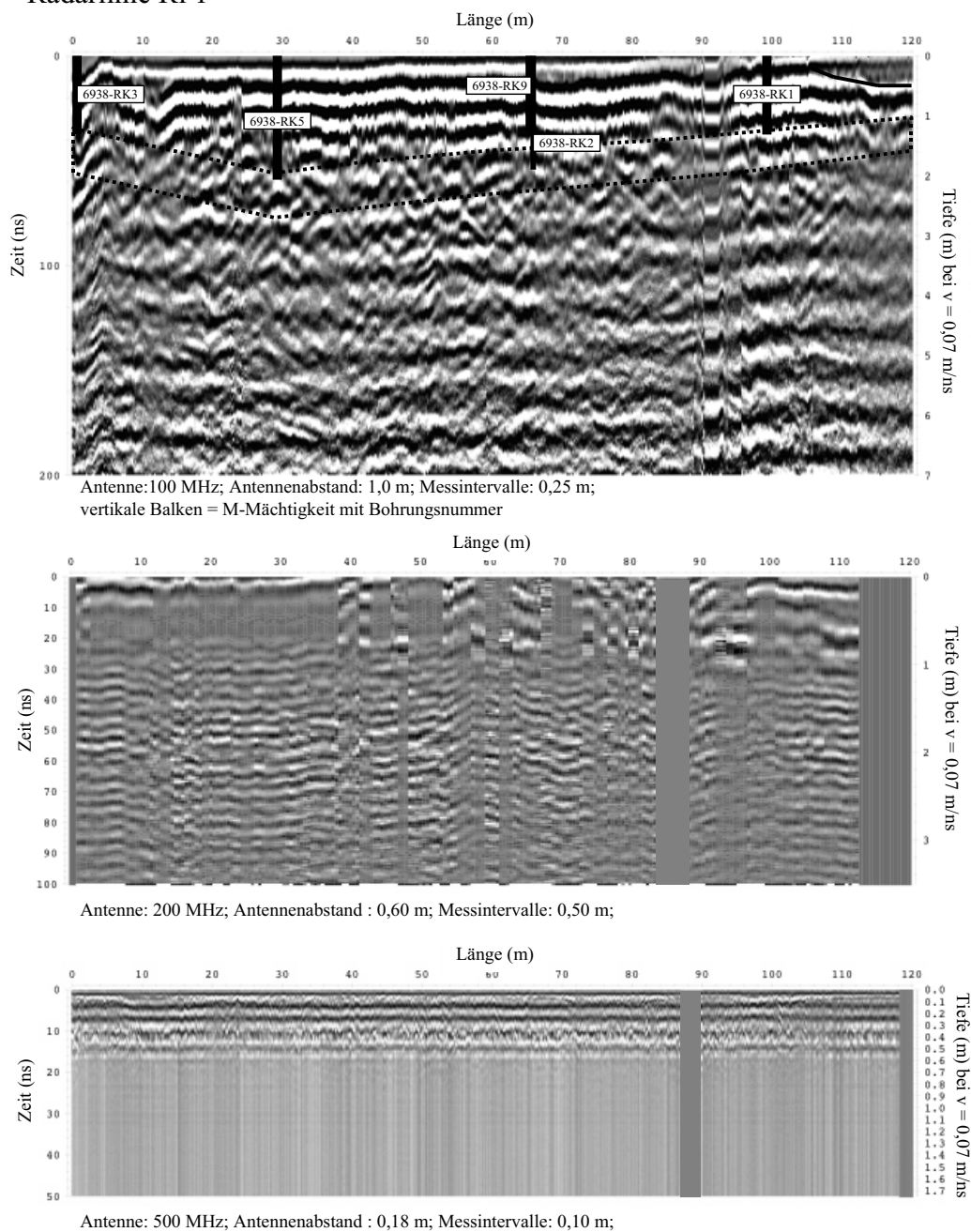


Abbildung 5.35: Radargramme von Radarlinie Rl 1 – Darstellung und Auswertung mit ReflexWin

Radarlinie Rl 2

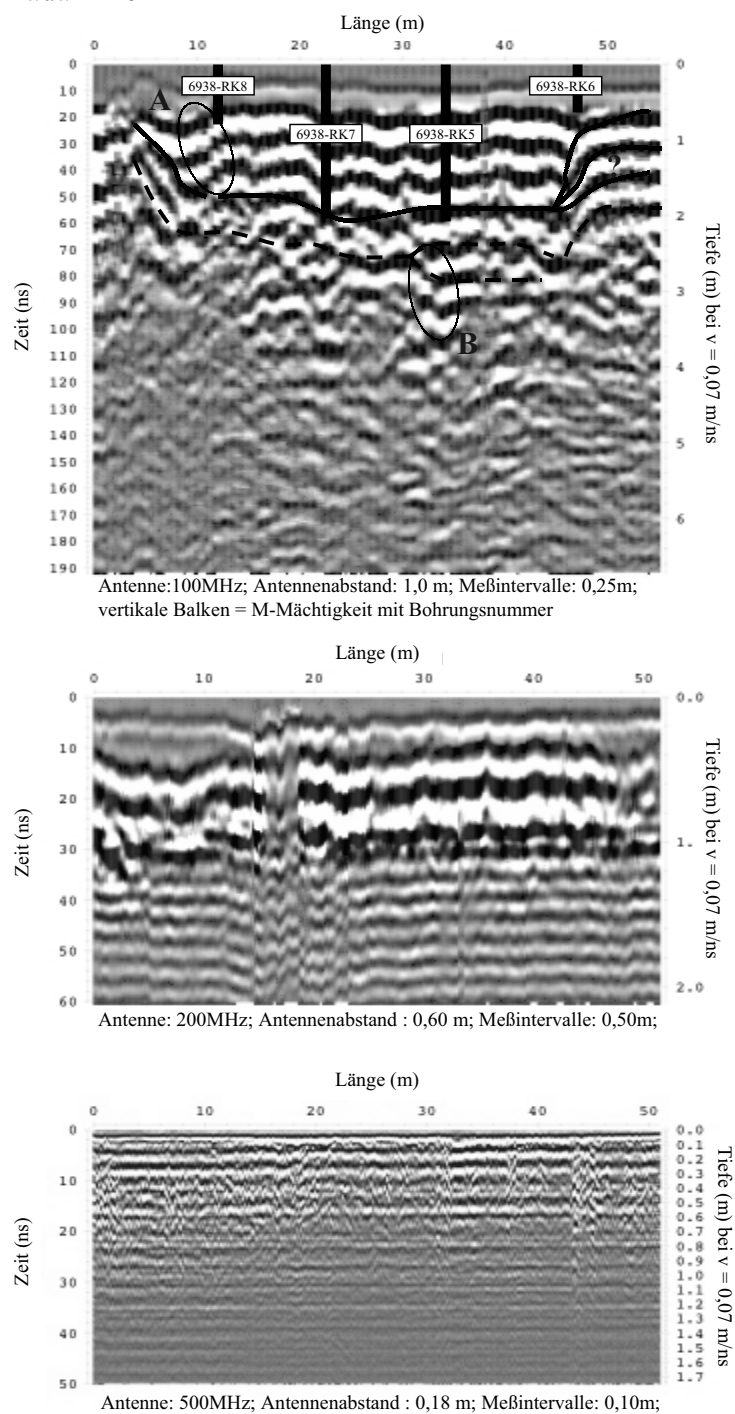


Abbildung 5.36: Radargramme von Radarlinie Rl 2 – Darstellung und Auswertung mit ReflexWin

5.3.1.4 Erosions- und Akkumulationsbeträge

Die Massenbilanzierung der Erosion im Einzugsgebiet des Schwemmfächers befasst sich mit zwei Bereichen. Zunächst wird ermittelt, wie viel Bodenmaterial im Einzugsgebiet fehlt, anschließend wird geprüft, aus welcher Menge Bodensubstrat der resultierende Schwemmfächerkörper aufgebaut ist.

Erosionsbeträge

Um die Erosionsmasse zu bestimmen, wurden die Differenzen von Bodensondierungen aus den Hohlwegen zu dem angenommenen Maximalprofil gebildet. Als Bezugsgröße wurde für den *Al*-Horizont eine Mächtigkeit von 30 cm angenommen. Diese wurde aus der Vergleichscatena (Abbildung 5.15) und unter Berücksichtigung von Profil 6938 Sg2 abgeleitet. In Tabelle 5.1 sind die punktuell gewonnenen Erosionsbeträge zusammengestellt.

Das erodierte Volumen wurde anhand eines digitalen Geländemodells berechnet, indem die rezenten Geländeoberfläche durch Auffüllen der Hohlformen ausgeglichen wurde. Da auch die Profile der zurückgebliebenen Rippen und Rücken verkürzt sind, muss für die Bilanzierung ein bestimmter Betrag zur rekonstruierten Geländeoberkante ergänzt werden. Dieser ergibt sich aus den in Tabelle 5.1 aufgelisteten Daten, welche in die Fläche übertragen wurden.

Die rekonstruierte Geländeoberfläche ist in Abbildung 5.37 der rezenten Geländeoberfläche gegenübergestellt.

Durch die Subtraktion der rezenten Geländeoberfläche von der modellierten Geländeoberkante ergibt sich ein Fehlvolumen von 6100 m³.

Tabelle 5.1: Fehlbeträge im Erosionsgebiet

Nr. der Bohrung	Fehlbetrag (cm)
6938 RK 101	20
6938 RK 102	43
6938 RK 103	55
6938 RK 104	13
6938 RK 105	144
6938 RK 106	10
6938 RK 107	174
6938 RK 108	210

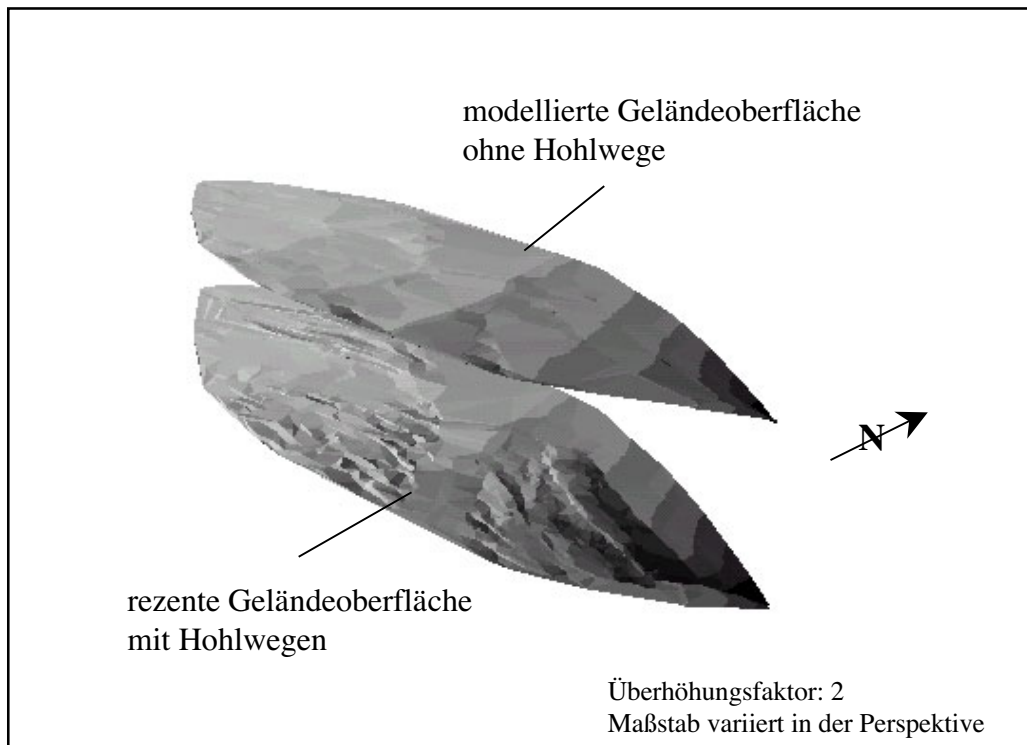


Abbildung 5.37: Modell des Einzugsgebietes des Schwemmfächers. Darstellung der Geländeoberfläche vor und nach der Hohlwegeintiefung und der damit verbundenen Bodenerosion.

Um das Volumen in die Masse umzurechnen, ist eine mittlere Lagerungsdichte zu bestimmen. Da in einigen Bereichen nur die *Al*-Horizonte, in anderen jedoch auch die *fBt*-Horizonte gekappt wurden, beinhaltet die Umrechnung des Volumens in die Masse eine Unsicherheit. In der vorliegenden Arbeit wurde eine mittlere Lagerungsdichte von einem angenommenen Idealprofil mit 30 cm *Al*-Horizont, 40 cm *Bt*-Horizont und 20 cm *fBt*-Horizont ausgegangen. Bildet man die Mittelwerte der einzelnen Horizonte, so ergeben sich folgende Lagerungsdichten:

Al: 1,28 g/cm³ (Probe 6938-Sg1/1-2)

Bt: 1,55 g/cm³ (Probe 6938-Sg1/4-8)

fBt: 1,67g/cm³ (Probe 6938-Sg1/9-10)

Gewichtet man die Einzelwerte entsprechend ihren Anteilen ($Al = 33, \bar{3}\%$; $Bt = 44, \bar{4}\%$; $fBt = 22, \bar{2}\%$), ergibt sich eine mittlere Lagerungsdichte von $1,49 \text{ g/cm}^3$. Da die Wahrscheinlichkeit der Erosion mit der Tiefe abnimmt, wird der berechnete Wert als Maximalwert angesehen.

Unter Verwendung des genannten Wertes der Lagerungsdichte lässt sich die erodierte Bodenmasse mit $\sim 9090 \text{ t}$ beziffern.

Akkumulationsbeträge

Auch das Volumen des Schwemmfächers wurde mit Hilfe eines digitalen Geländemodells bestimmt. Anhand der Bohrdaten (6938 RK 1 - 6938 RK 10) wurde die Kontaktfläche zwischen Schwemmfächer und begrabener Oberfläche modelliert, indem zwischen den Punkten linear interpoliert wurde. In Tabelle 5.2 sind die einzelnen Mächtigkeiten des Kolluviums an den Bohrpunkten zusammengestellt.

Die anfangs geplante Ergänzung der Bohrdaten mit Liniendaten aus der geophysikalischen Prospektion wurde wegen zu geringer vertikaler Auflösung, bzw. zu großer Unschärfe der Daten der Seismik-, bzw. des Georadars, nicht vorgenommen. Qualitativ stützen sie jedoch die Vorgehensweise der linearen Interpolation zwischen den Bohrpunk-

Tabelle 5.2: Schwemmfächermächtigkeit an den Bohrpunkten

Nr. der Bohrung	Mächtigkeit (cm)
6938 RK 1	129
6938 RK 2	191
6938 RK 3	130
6938 RK 4	170
6938 RK 5	205
6938 RK 6	80
6938 RK 7	200
6938 RK 8	77
6938 RK 9	120
6938 RK 10	120

ten. Sowohl durch die Seismik, als auch durch das Georadar wurden keine Hinweise auf Unregelmäßigkeiten der ehemaligen Geländeoberfläche, wie z.B. verfüllte Rinnenstrukturen gefunden. Auch die zur Datenverdichtung durchgeführten Bohrstockeinschläge gaben keine Hinweise auf Unregelmäßigkeiten im Untergrund.

In Abbildung 5.38 ist die rekonstruierte Schwemmfächerunterfläche der rezenten Geländeoberkante gegenübergestellt. Durch Subtraktion der rekonstruierten Modelloberfläche vom Modell der rezenten Oberfläche ergibt sich für den Schwemmfächer ein Volumen von 4220 m^3 . Als mittlere Lagerungsdichte wurde analog der Vorgehensweise im Erosionsgebiet ein entsprechend der Anteile gewichtetes Mittel berechnet. Berechnet auf eine Tiefe bis 160 cm ergibt sich eine mittlere Lagerungsdichte von $1,51 \text{ g/cm}^3$. Multipliziert mit dem Volumen resultiert für den Schwemmfächerkörper eine Masse von $\sim 6370 \text{ t}$.

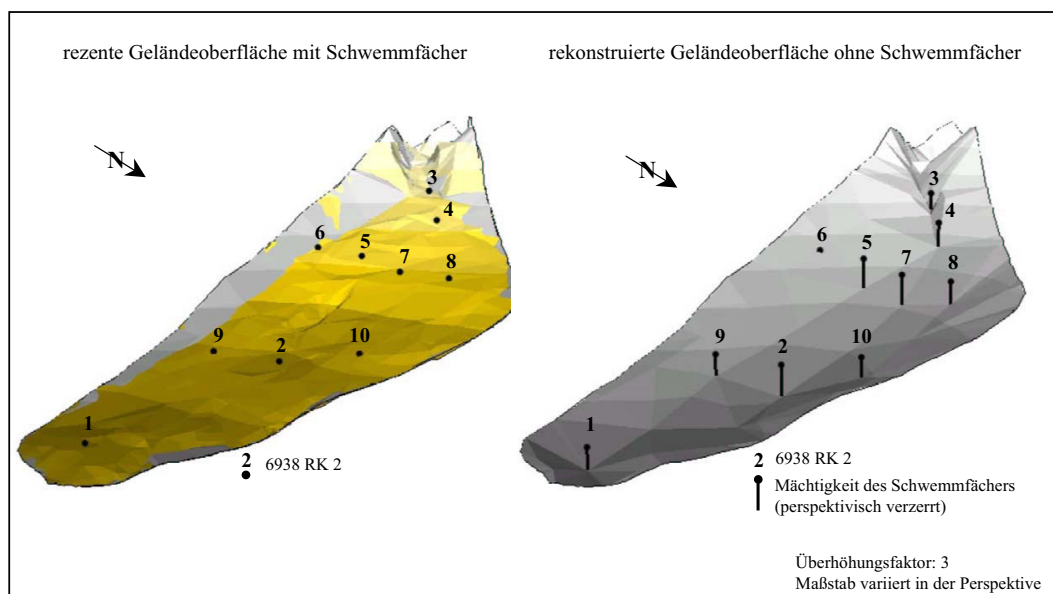


Abbildung 5.38: Modell des Schwemmfächerbereiches. Darstellung der Geländeoberfläche vor und nach der Akkumulation des kolluvial verlagerten Sedimentes.

5.3.1.5 Modell des Gebietes der Detailstudie und Massenbilanzierung

Basierend auf den erarbeiteten Ergebnissen aus der Feld- und Laborarbeit ist es möglich, ein Modell zu erstellen, welches den Bereich des Schwemmfächers und dessen Einzugsgebiet darstellt, wie er vor der Hohlwegeintiefung ausgesehen hat. In Abbildung 5.39 sind der rezente Zustand (unten) sowie die ehemalige Geländeoberfläche (oben) dargestellt.

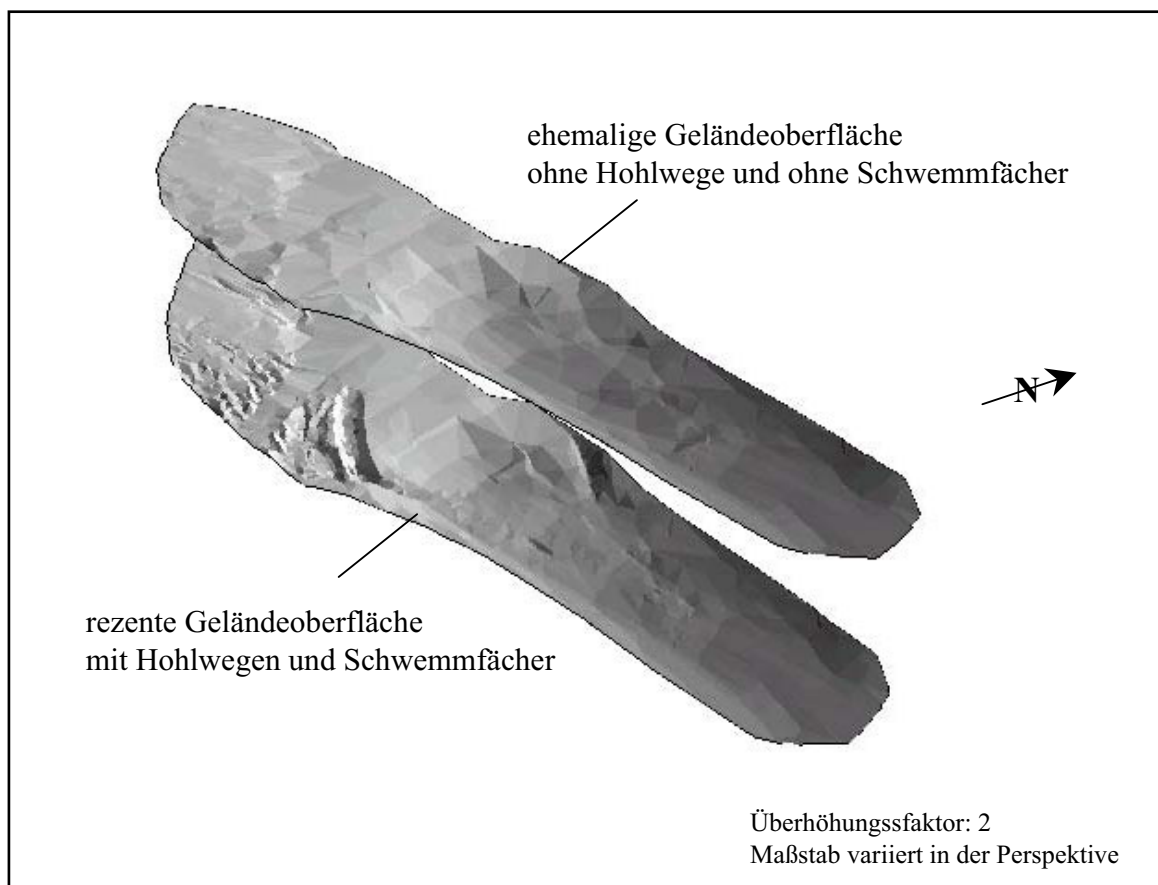


Abbildung 5.39: Modell der rezenten und der ehemaligen Geländeoberfläche im Bereich des Schwemmfächers und dessen Einzugsgebiet

Im Zuge der Eintiefung des Hohlwegsystems wurden aus dem in Abbildung 5.37 dargestellten Ausschnitt ~ 9090 t Bodenmaterial ausgetragen. Im direkten Zusammenhang mit der Hohlwegeintiefung hat sich unmittelbar unterhalb der zentralen Fahrspur, in welcher sich das Hohlwegsystem bündelt, ein Schwemmfächer gebildet. Dieser ist aus

einer Bodenmasse von ~ 6370 t aufgebaut. Demnach haben sich 70 % des erodierten Bodenmaterials innerhalb von etwa 100 Metern in Form eines Schwemmfächers wieder abgelagert. Daraus ergibt sich, dass 30 % des gesamten Erosionsbetrages das „Schwemmfächer - Hohlweg - System“ verlassen haben müssen. Ob dieses Material in tiefer gelegenen Sedimentspeichern abgelagert wurde, oder ob es durch die Naab als Vorfluter abtransportiert wurde, ist bei der Untersuchung des Gesamtsystems der Hohlwege zu klären.

Um eine zeitliche Einordnung der Erosion vornehmen zu können, wurden Sedimentdatierungen mit der OSL - Methode durchgeführt. Die resultierenden Alter betragen $10,5 \pm 0,8$ ka (6938-Sg2/1osl; Risø 04501) bzw. $11,3 \pm 0,9$ ka (6938-Sg2/2osl; Risø 04502).

Innerhalb der obersten zehn Zentimeter des Schwemmfächerkörpers konnten mit einer Metallsonde zudem Münzen, Bruchstücke von vorindustriellen Werkzeugen sowie Hufeisen (vgl. Abbildung A-5) gefunden werden. Eine Münze datiert durch ihr Prägedatum in das Jahr 1892 (vgl. Abbildung A-6), die anderen genannten Funde konnten nicht näher zeitlich eingeordnet werden. Im Bereich von 6938 RK 8 wurde in einer Tiefe von 30 cm ein horizontal gelagertes Sichelmesser (vgl. Abbildung A-7) ausgegraben. Auch dieser Fund kann zwar archäologisch nicht genauer datiert werden, steht jedoch mit der Datierung 6938-Sg2/1 im Konflikt, was später zu diskutieren ist.

5.3.1.6 Genauigkeit der Bilanzierung der Detailstudie

Die durchgeführte Massenbilanzierung unterliegt verschiedenen Fehlerquellen, welche aus unterschiedlichen Gründen in dieser Arbeit nicht eliminiert werden konnten. Als sicherste Größe kann das rezent vorliegende Relief angenommen werden, da es durch moderne Vermessungstechnik direkt erfasst wurde. Ebenso kann das Einzugsgebiet, welches auf dieser Grundlage bestimmt wurde, als sicher angenommen werden.

Betrachtet man das Erosionsvolumen, so ist zu beachten, dass die rekonstruierte Mächtigkeit des *Al*-Horizontes aus einer benachbarten Vergleichscatena übertragen wurde und aus technischen Gründen als homogen angenommen werden musste. Da bei der Erosion

Horizonte unterschiedlicher Lagerungsdichte erodiert wurden, ist auch bei der Umrechnung von Erosionsvolumen in die Erosionsmasse ein Fehler beinhaltet, der bezogen auf die Maxima und Minima der Lagerungsdichten (siehe Abbildung 5.23), mit $\pm 0,21 \text{ g/cm}^3$ oder $\pm 14 \%$ beziffert werden kann. Bereiche, die tiefer als das Idealprofil von 90 cm erodiert wurden, sind mit einer zu geringen Lagerungsdichte in die Berechnung eingegangen, Bereiche, die weniger stark erodiert wurden, mit einer zu hohen Masse. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass vor der Hohlwegeintiefung eine Bodenerosion vorangegangen ist, welche bereits zu einer Kappung der Bodenprofile geführt hatte. Wäre dies der Fall, ist vom Erosionsvolumen eine unbekannte Menge abzuziehen.

Das Akkumulationsvolumen wurde durch Bohrungen ermittelt, wobei zwischen den Bohrpunkten linear interpoliert wurde. Dies kann sowohl zu einem zu großen, als auch einem zu kleinen Akkumulationsbetrag führen. Die Lagerungsdichte des Schwemmfächerkörpers ist über die Fläche gesehen weitgehend homogen, so dass die Umrechnung vom Volumen zur Masse als sicher erachtet wird. Für die Akkumulationsmasse gibt es keine Hinweise auf eine Über- bzw. Unterschätzung des Wertes.

5.3.2 Bodenerosion im gesamten Hohlwegsystem

Um die durch Hohlwegeintiefung ausgelöste Erosion im gesamten Untersuchungsgebiet quantifizieren zu können, wurden alle Hohlwegspuren durch eine Feldkartierung aufgenommen und vermessen (vgl. Abbildung 5.10). Da ein Anschluss an die Vorfluter Naab, Schwarze Laaber und Donau besteht, in welche das erodierte Bodenmaterial ausgetragen wurde, liegt das Hauptaugenmerk auf der Ermittlung der Fehlbeträge in den Hohlformen. Dennoch dürfen auch bei der Betrachtung des Gesamtsystems die korrelierten Sedimente in den Sedimentfallen, die wichtige Geoarchive darstellen, nicht außer Acht gelassen werden. Sie können z.B. Aufschluss über die zeitliche Komponente und die Intensität der abgelaufenen Prozesse geben.

5.3.2.1 Korrelate Sedimente

Um die Sedimentzwischenspeicher zu finden, in welchen das Substrat der erodierten Böden abgelagert wurde, wurden die Verebnungen in der Haupttiefenlinie unterhalb des in Kapitel 5.3.1 beschriebenen Schwemmfächers untersucht. Die Standorte, an welchen durch Bohrungen die Sedimentzwischenspeicher erfasst wurden, sind in Abbildung 5.40 dargestellt. In den Sedimentfallen, welche durch die Bohrungen 6938 EK 10, 6938 EK 11 und 6938 EK 12 untersucht wurden, sind Kolluvien nachzuweisen. Im Bereich von Bohrung 6938 EK 10 ergab sich ein $Ah(M) - IIBt - lCv$ -Profilaufbau. Unter einem 15 bis 20 cm mächtigen stark humosen und staunässebeeinflussten $Ah(M)$ -Horizont befindet sich ein dicht gelagerter $IIBt$ -Horizont. Nach der Abtragung des ehemaligen Al -Horizontes hat sich ein Kolluvium abgelagert, welches sich durch Humusanreicherung in einen Ah -Horizont weiterentwickelt hat. Die Sedimentzufuhr ist durch zwei Tiefenlinien, eine südliche und eine westliche, vorgegeben. Ein Substrateintrag des östlich anschließenden Hanges kann ebenfalls nicht ausgeschlossen werden.

Durch Bohrung 6938 EK 11 wurde ein 135 cm mächtiges Kolluvium erbohrt. Im oberen Bereich des Profils hat sich im Kolluvium durch Humusanreicherung ein 5 cm mächtiger Ah -Horizont entwickelt. In einer Tiefe von ca. 18 bis 40 cm sind größere Klasten in der Bodenmatrix eingeschlossen. Diese können Anrissen von Flanken in der oberhalb liegenden Runse zugeordnet werden. Die Herkunft des kolluvialen Sedimentes wird der Runse in der Tiefenlinie zugeordnet. Für einen Sedimenteintrag von den östlich und westlich verlaufenden Hängen gibt es keine

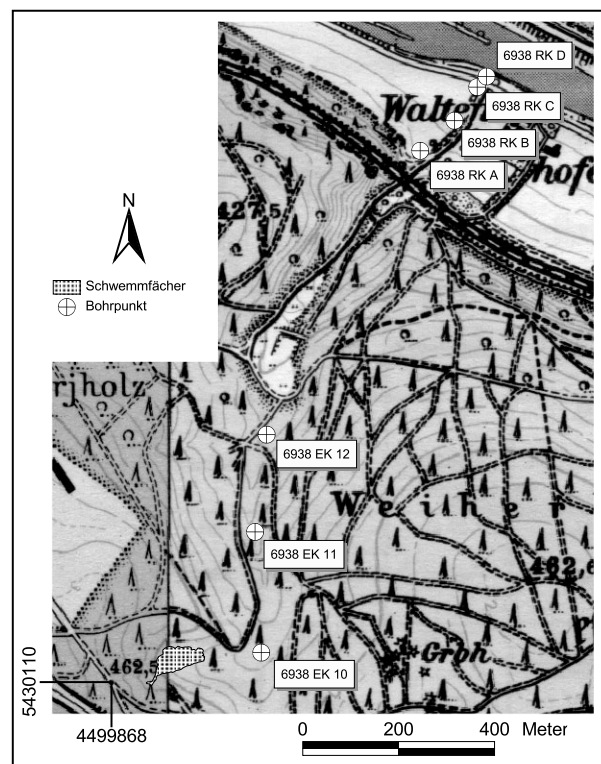


Abbildung 5.40: Bohrungspunkte in den Sedimentzwischenspeichern

Hinweise. In einer Tiefe von 85 cm wurde Holzkohle gefunden und datiert. Die ^{14}C -Datierung ergab ein Alter von 3338 ± 54 Radiokarbonjahren, bzw. ein kalibriertes Alter von 1744 BC - 1498 BC 2 Sigma (Probe: Erl-7213). Nach RIND (1997) datiert das Kolluvium damit in die Frühe Bronzezeit. Auch SCHMIDGALL (2004: 148) dokumentiert für diesen Zeitraum den Beginn der Kolluviendeposition am Schlossberg bei Kallmünz, welcher sich nur wenige Flusskilometer oberhalb des Untersuchungsgebietes dieser Arbeit befindet (vgl. Abbildung 2.1).

In der Verebnung im Bereich von Bohrung 6938 EK 12 findet sich der gleiche Profilaufbau, wie von Bohrung 6938 EK 11, wobei die obersten 5 cm durch Humusanreicherung (*Ah*-Horizont) gekennzeichnet sind und die Gesamtmächtigkeit des Kolluviums bei 100 cm liegt. Ein Sedimentliefergebiet entspricht dem Einzugsgebiet der in der Tiefenlinie verlaufenden Runse. Durch eine westlich liegende tributäre Tiefenlinie hat eine weitere Sedimentzufuhr stattgefunden. Im Kolluvium ist jedoch keine Differenzierung unterschiedlicher Phasen möglich.

Um zusätzliche Informationen zur zeitlichen Stellung des Sedimentaustrages aus dem Untersuchungsgebiet zu erhalten, wurden die Hangsedimente unterhalb der Haupttiefenlinie in ihrem Verzahnungsbereich mit den Sedimenten der Naab untersucht. In den Bohrungen 6938 RK A und 6938 RK B konnte ein 130 bzw. 172 cm mächtiges Hangkolluvium erbohrt werden. Der Profilaufbau bei Bohrung 6938 RK A weist ein dreigliedriges Kolluvium auf, bei 6938 RK B zeigen sich vier unterschiedliche Glieder im Profil. Eine Verzahnung von Hang- und Auesediment tritt bei Bohrung 6938 RK C auf. Unterhalb eines 150 cm mächtigen Kolluviums befindet sich eine ca. 70 cm mächtige Schicht aus Auelehm. Diese wird nach unten von einem fossilen *Ah*-Horizont abgegrenzt. Ab einer Tiefe von 238 cm liegt wieder Sediment der Naab vor.

Die Herkunft des Substrates der Hangkolluvien kann nicht zweifelsfrei bestimmt werden. Auffällig ist, dass die Hangsedimente im Gegensatz zum Substrat in den oberhalb gelegenen Sedimentspeichern karbonathaltig sind. Dies lässt sich dadurch erklären, dass das karbonatfreie Bodensubstrat bei seiner Verlagerung durch eine enge Passage im Malmkalk transportiert wird. Hier kommt es zu einer Vermischung von kalkfreiem und

kalkhaltigem Substrat.

Das aus den Feld- und Laborbefunden, welche im Anhang dokumentiert sind, konstruierte Profil zwischen Bahndamm und Naab ist in Abbildung 5.41 dargestellt.

Auch wenn es in den Einzelbefunden Anhaltspunkte für eine Differenzierung des Kolluviums gibt, wurde es im Profilschnitt zur Verbesserung der Übersicht als ein Horizont zusammengefasst. An der Untergrenze des Kolluviums konnte mittels ^{14}C -Datierung ein Alter von 5338 ± 55 Jahren BP (siehe Anhang: Erl-7209) ermittelt werden. Dieses Alter fällt nach RIND (1997) in das Jungneolithikum. Es ergibt sich der Hinweis, dass der Mensch, dessen Präsenz seit dem Mesolithikum durch Funde in der Höhle bei Waltenhofen gesichert ist (KNOTT 1999), schon in der ersten Phase des Sesshaftwerdens am Standort in den Landschaftshaushalt eingegriffen hat. Im Verzahnungsbereich von Aue- und Hangsedimenten konnte ein fossiler *Ah*-Horizont auf ein Alter von 4377 ± 53 Jahren BP (siehe Anhang Erl-7211) datiert werden. Ein Holzkohlefund aus dem darüberliegenden Auesediment (*aM*-Horizont) datiert dieses auf 2428 ± 49 Jahre BP (siehe Anhang Erl-7210). Bei der Bohrung in der rezenten Naabaue, etwa 20 m entfernt vom heutigen Ufer, konnten 400 cm Auelehm erbohrt werden. Die Holzkohledatierung eines Fundes aus 378 - 400 cm Tiefe ergab ein Alter von 2001 ± 53 Jahren BP (siehe Anhang Erl-7212). Dies wird durch eine Verlagerung des Flusslaufes und der damit einhergehenden Sedimentation erklärt. Insgesamt ist wegen starker anthropogener Veränderung, die im Zusammenhang mit dem Bau des Bahndammes steht, das dargestellte Gesamtprofil mit Vorsicht zu betrachten. Ab dem Jahr 1869 wurde mit dem Bau des Bahndammes bei Waltenhofen/Etterzhausen begonnen und wie auf dem Foto von 1871 (Abbildung 5.42) zu erkennen ist, dabei im Hangbereich sowie in der Aue ein enormer Eingriff in die Landschaft vorgenommen.

Für den Hangabschnitt zwischen Bahndamm und Naab ergibt sich eine Landschaftsveränderung, welche in einer früheren Zeitscheibe als jene der Hohlwegeintiefung stattgefunden hat. Bodenmaterial, welches im Zuge der Hohlwegerosion mobilisiert wurde und über die Runse auf den genannten Hangbereich transportiert wurde, konnte nicht differenziert werden. Die Gründe hierfür liegen zum einen in der sekundären Karbonat-

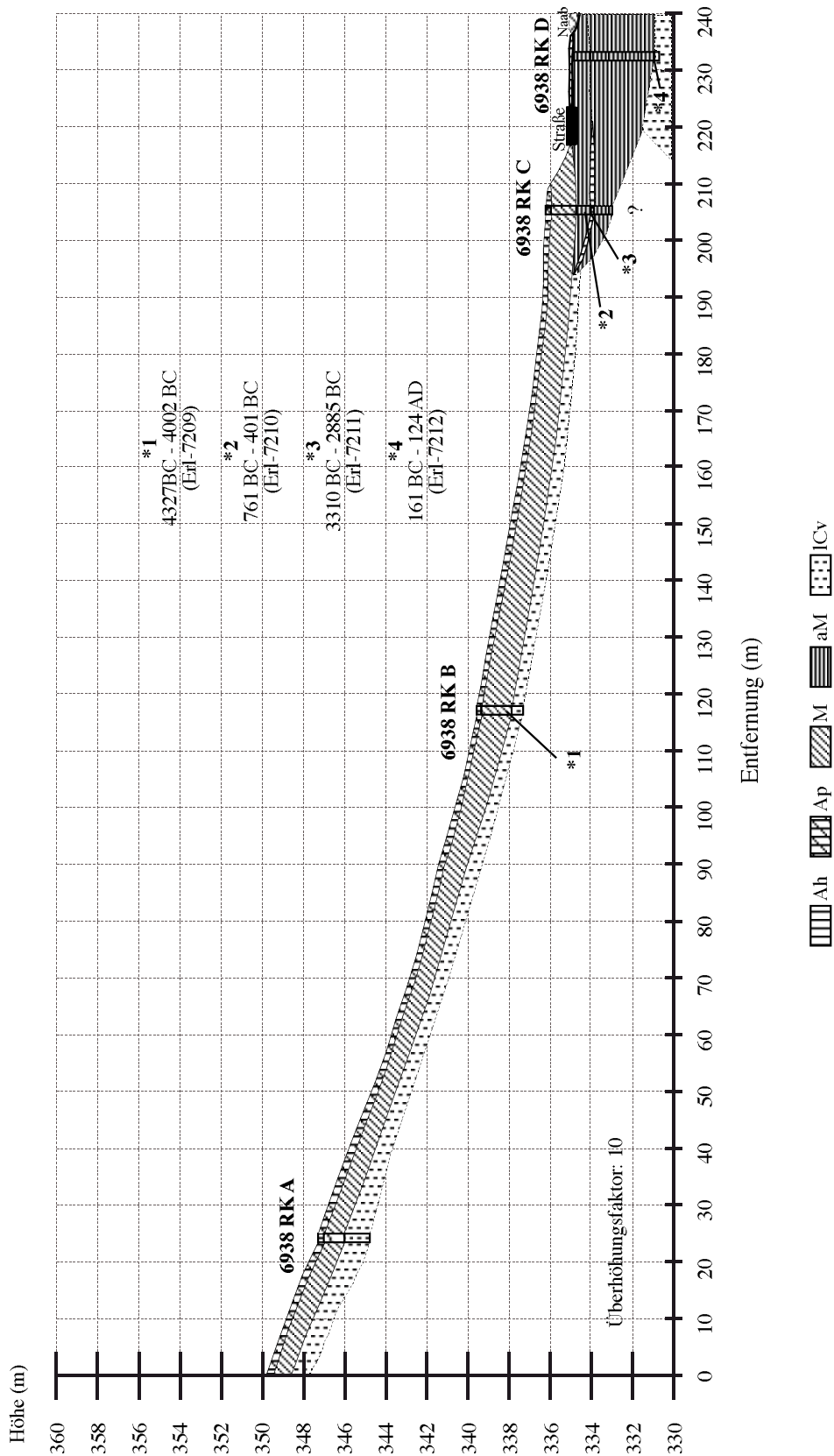
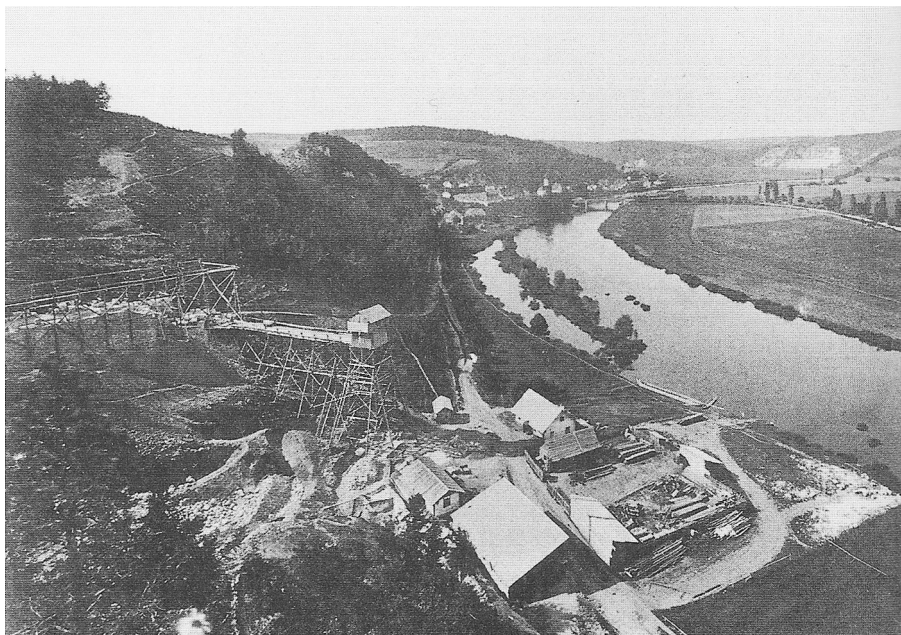


Abbildung 5.41: Profilaufbau im Verzahnungsbereich von Hangkolluvium und Auelehm der Naab

anreicherung des Substrates, zum anderen in dem enormen Eingriff in den Landschaftshaushalt durch den Bahndammbau am Ausgang des 19. Jahrhunderts.



Quelle: KIBLE 1996, S.106

Abbildung 5.42: Großbaustelle bei Waltenhofen beim Bau des Bahndammes im Jahre 1871

5.3.2.2 Erosionsbeträge der Hohlwegtrassen

Um die Landschaftsveränderung durch die Hohlwegeintiefung quantifizieren zu können, wurde das gesamte Hohlwegsystem im Arbeitsgebiet vermessen. Da die kartierten Breiten- und Tiefenwerte sowie die Längenangaben der einzelnen Hohlwegabschnitte im Geoinformationssystem gespeichert wurden, standen sie für weitere Berechnungen zur Verfügung. Für den Abtragungsbetrag der gesamten Hohlwegerosion im Arbeitsgebiet ergibt sich ein Volumen von $34266 \pm 9937 \text{ m}^3$. Daraus ergibt sich bei einer Lagerungsdichte von $1,3 \text{ g/cm}^3$ ein Abtrag von $44545 \pm 12918 \text{ t}$. Dabei umfasst die Erosion der südlichen beiden Wegebündel, welche von der Donau auf die Hochfläche ziehen, $30250 \pm 8773 \text{ m}^3$ bzw. $39325 \pm 11404 \text{ t}$ und die des zwischen Waltenhofen und Grafenried liegenden Hohlwegsystems $4016 \pm 1165 \text{ m}^3$ oder $5220 \pm 1514 \text{ t}$.

Der Gesamtfehler, der nach RÜTTIMANN & PRASUHN (1990) berechnet wurde, liegt bei 22 - 29 %. Dies deckt sich mit den Angaben von HERWEG (1989), der für Rillen- und Rinnenerosion einen Fehler von ± 20 - ± 30 % angibt.

5.3.2.3 Fehlerquellen bei der Quantifizierung der Hohlwegerosion

Die Bestimmung des erodierten Bodenvolumens erfolgt durch Messung von Länge, mittlerer Breite und mittlerer Tiefe der Erosionsform. Daraus resultieren Fehler in der Abgrenzung der Erosionsform sowie Messfehler. Die Länge der Hohlformen wurde mit einem Maßband eingemessen und mit der Flurkarte überprüft. Der resultierende statistische Fehler ist unabhängig von der Länge der Form und liegt nach RÜTTIMANN & PRASUHN (1990) bei $\pm 1\%$. Aus mittlerer Breite und mittlerer Tiefe wurde ein repräsentativer Querschnitt je Hohlwegsegment berechnet. Die Wahl der zu vermessenden Stelle wird dabei subjektiv vom Kartierer bestimmt. Der daraus resultierende Fehler kann nicht exakt quantifiziert werden und geht mit $\pm 20\%$ Abweichung in den Gesamtfehler mit ein (RÜTTIMANN & PRASUHN 1990). Weitere Fehler können bei der zu vermessenden mittleren Breite und mittleren Tiefe entstehen. Bei älteren, erosiv stark überprägten Hohlwegen ist die Bestimmung der Hangkante nicht immer exakt vorzunehmen. Der dadurch entstehende prozentuale Fehler nimmt mit zunehmender Formengröße ab und wurde in dieser Arbeit folgendermaßen angesetzt:

Rinnentiefe von < 20 cm : ± 15 %

Rinnentiefe von 21 - 90 cm : ± 10 %

Rinnentiefe > 90 cm : ± 7 %

Mit der Fehlerfortpflanzungsformel wurde der Fehler der Querschnittsfläche berechnet und anschließend der Längenfehler, sowie der durch subjektive Querschnittswahl entstehende Fehler addiert. Auf diese Weise wurde der Fehler eines jeden der 412 Hohlwegsegmente berechnet. Die statistische Fehlerverteilung sieht wie folgt aus:

Anzahl der Werte: 411

Mittelwert: 24

Maximum: 29

Minimum: 22

Range: 7

Varianz: 5

Standardabweichung: 2

Für die Fehlerbrechnung des Gesamtfehlers ergibt sich daher der Wert von $\pm 29 \%$.

6 Altstraßenforschung im Untersuchungsgebiet

Wie im Abschnitt 3.1.2 erläutert, können Altstraßen heute in verschiedenster Form vorliegen. In dieser Arbeit liegt der Schwerpunkt auf den Hohlwegen, die als mehr oder weniger gut erhaltene Relikte im Untersuchungsgebiet zu finden sind. Um diese in einen räumlichen und geschichtlichen Kontext zu bringen, sind jegliche Hinweise über Verkehrswege im näheren sowie im überregionalen Umfeld in Betracht zu ziehen. Zu klären ist, ob die im Untersuchungsgebiet erhaltenen Hohlwege einem lokalen, regionalen oder überregionalen Altstraßennetz zugeordnet werden können und wenn ja, welchem.

6.1 Allgemeines über Altstraßen und deren Erforschung

Das Objekt der Altstraßenforschung sind die vorindustriellen Verkehrswege. Der Verkehr auf diesen, wurde durch verschiedenste Motive (z.B. wirtschaftliche, politische oder religiöse) ausgelöst. Durch die geschichtliche Erforschung der Straßen, die eine Voraussetzung für öffentlichen und privaten Verkehr sind, können wesentliche Einsichten über die Entwicklung unserer Kultur gewonnen werden. Dabei dienen die Straßen einerseits als Leitlinie für die kulturelle und wirtschaftliche Entwicklung, andererseits bewirkt die Entwicklung an unterschiedlichen Orten auch den Ausbau oder die Neuanlage von Verkehrswegen.

Zur näheren Erforschung der Altstraßen fällt der Geographie und den Geschichtswis-

senschaften eine zentrale Rolle zu, wobei sich die Disziplinen wechselseitig ergänzen (JÄGER1993: 39). Wichtige methodische Beiträge zur Altstraßenforschung liefern u.a. RIPPEL (1959), DENECKE (1969, 2002) sowie JÄGER (1993). Erste Übersichtskarten über alte Handelsstraßen Deutschlands und der angrenzenden Länder sind bereits Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts entworfen worden. Zu nennen ist hier das Werk von RAUERS (1906). Im Oberpfälzer Raum haben unter anderem DOLLACKER (1919, 1938), STARK (1978), MANSKE (z.B. 1987, 2000, 2003) und AUER (1998, 1999) umfangreiche Studien über alte Verkehrsverbindungen durchgeführt.

Altstraßen bestehen seit Menschen reisen und Handel betreiben. Anfänglich waren es nur Pfade und Steige, die von Menschen und Saumtieren begangen wurden, sie waren nach HEINLE (1999: 340) nicht eigens angelegt und befestigt, sondern von Fußgängern, Reitern oder Lasttieren ausgetreten oder auch von leichten Fuhrwerken ausgefahren. Seit dem 3. Jahrtausend v. Chr. treten nach AUER (1998) durch das Aufkommen des Wagens neben den Saumpfaden auch einfache Erdstraßen auf. Häufig wurden bei der Errichtung dieser Straßen bereits bestehende Wege nur ausgebaut und vor allem seit der Eroberung des Voralpenlandes durch die Römer im Jahr 15 v. Chr. den topographischen Gegebenheiten angepasst. Im frühen Mittelalter entstanden dann verschiedene Trassenvarianten und Alternativstrecken. Einige der Routen wurden im Hoch- bzw. Spätmittelalter wieder aufgegeben, andere stellen auch heute noch wichtige Verkehrsadern dar (AUER 1998: 7). In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts setzte der Kunststraßenbau (Chausseebau) ein und das heute noch weitgehend so erhaltene Straßennetz ist ausgebaut worden, jedoch auch aus dieser Zeit sind nur wenige originale Teilstücke erhalten (DENECKE 2002: 3).

Wege dienten seit jeher dem Verkehr, der seinerseits einem bestimmten Bedürfnis entsprang. So dienten die ersten Pfade des ältesten Menschen zur Nahrungssuche. Später vollzog sich auf diesen Pfaden der erste einfache Tauschhandel zwischen den Stämmen und endlich ein Fernhandel mit bestimmten Gegenständen (FISCHER 1940: 154). Dabei orientierte sich der Verlauf der Altstraßen häufig an den Flussläufen, was jedoch nicht bedeutet, dass die Trasse auch im Tal verlief. Die Flusstäler sind vielmehr nur als Leitli-

nien anzusehen, der Verkehr verlief auf den Höhenrücken. Täler, wie z.B. jene von Naab und Regen, mit häufigem Wechsel von Talweitungen und schmalen Engpässen, weisen häufig Feucht- bzw. Sumpfbereiche auf. Diese Bereiche stellen große Hindernisse dar, so dass man abenteuerliche Auf- und Abstiege in Kauf genommen hat, um auf die Hochflächen zu gelangen (MANSKE 1987, 2000).

Im Normalfall verliefen die Fernwege früherer Zeiten über die Höhenrücken. Waren Senken zu überqueren, so geschah dies in der Regel auf dem kürzesten Wege (AUER 1998: 7). Umwege wurden wenn möglich vermieden. „Lieber mietete man für den Steilanstieg Vorspanndienste [...], die derartige Dienste gegen Bezahlung leisteten“ (MANSKE 2003: 33). Dies wird verständlich, wenn man berücksichtigt, welche Distanzen im Frühmittelalter an einem Tag zurückgelegt werden konnten. Die Tagesstrecke, die über drei bis vier Tage durchgehalten werden konnte, lag bei Ochsespannen oder Viehtransporten bei 20 km pro Tag. Allgemein geht man bei Fuhrwerken von Tagesstrecken von 18 km aus (WEIGEL 1959: 151). Für heutige Verhältnisse kleine Umwege von nur wenigen Kilometern bedeuteten demnach damals bereits enorme Zeiteinbußen.

Im Gelände findet man an den Auf- bzw. Abstiegen der Hohlwege häufig zwei oder mehrere parallellaufende Spuren vor. Dies ist darauf zurückzuführen, dass für die An- und Abstiege unterschiedliche Fahrspuren verwendet wurden. Vor allem in lehmigen und sandigen Bereichen findet man mehrere parallellaufende Fahrspuren, die auf Ausweichmanöver bei Gegenverkehr zurückzuführen sind. In den Sandsteinbereichen ist dies nur selten zu beobachten, so dass man hier „in der Regel ein bis zwei sehr tief eingerissene Fahrspuren - manchmal so breit, dass zwei Fuhrwerke aneinander vorbeikommen - und einige wenige geringer eingetiefte Parallels Spuren“ (MANSKE 2000: 50) findet. Die stärker eingetiefte Fahrrinne kann wohl dem talwärts gerichteten Verkehr zugeordnet werden, da durch den Einsatz der Ketten und des Bremsschuhs eine höhere Erosion als bei dem aufwärts gerichteten Verkehr zu erwarten ist (MANSKE 2000).

Es ist zu beobachten, dass in einigen Fällen zwei oder mehr Räume, bzw. Orte durch unterschiedliche Trassen miteinander verbunden werden. Daher schlägt MANSKE (1987)

vor, in solchen Fällen von einem Altstraßensystem zu sprechen. Er geht davon aus, dass in solchen Fällen mehrere Verkehrsträger abwechselnd oder gleichzeitig eine Rolle gespielt haben. So ist es denkbar, dass es z.B. zu einem Flussweg eine parallel zu diesem verlaufende Terrassen- oder Hochwegpiste gab.

Zwischen den einmal festgelegten Punkten, die sich aus der Lage der Handelsstädte ergaben, wurde schon im späten Mittelalter versucht, die Straße dem Gelände anzupassen.

„Die Höhenstraße des 8. Jahrhunderts war dort verlassen worden, wo sie durch viele Querverbindungen unterbrochen wurde; aber beibehalten, wo die Straßen auf langgestreckten Höhenzügen dahinführen konnten. Diese Höhenstraßen wurden erst zur Zeit des Kunststraßenbaus im Anfang des 19. Jahrhunderts verlassen, um die Straßen möglichst lang in den Tälern entlang zu führen“
(FISCHER 1940: 155).

Als Zugkraft für den einachsigen Karren bzw. den zweiachsigen Wagen diente im Frühmittelalter der Ochse. Dieser war zwar langsam, dafür aber ausdauernd. Als Tragetiere wurden der Esel, das Maultier und das Pferd eingesetzt, wobei das Pferd in erster Linie als Reittier diente (WEIGEL 1955: 151).

Um Altstraßensysteme zu erforschen schlägt JÄGER (1993) vor, Methoden aus der Geschichte und der Geographie nach dem Prinzip der wechselseitigen Erhellung zu kombinieren. Als geographische Methoden gelten die Verfahren, die sich vorrangig mit räumlichen Strukturen befassen, wie sie im Gelände vorhanden, in Luftbildern sichtbar und in Karten darstellbar sind. Zu den historischen Verfahren gelten die Urkunden-, Akten- und Schriftquellenauswertung (JÄGER 1993).

Im Gelände lassen sich mit Altwegen in funktionalem Zusammenhang stehende Gegenstände und Bauten finden. Konkret handelt es sich dabei um Weg- und Flurkreuze, Gedenksteine, „Wegmarterln“, Weg- und Flurkapellen, Fluss- und Brückenheilige sowie Patrozinien, die mit dem Verkehr in Verbindung stehen. Ferner sind teilweise auch Orientierungsbäume mit Flurkreuzen und aus den Altstraßen resultierende Hohlwege, Furten und Dammbauten erhalten (MANSKE 2003).

Weitere Hinweise auf Altstraßen geben Luftbilder, in welchen teilweise sogar überackerte Hohlwege zu erkennen sind (JÄGER 1993: 51), historische Karten, Meilenscheiben und sonstige Itinerarien. Dabei handelt es sich um Wegebücher und Straßenverzeichnisse der römischen Kaiserzeit (seit dem 1.Jh. v.Chr.), die Angaben über die Wege und Entfernungen zwischen den wichtigsten Orten enthielten (HARENBERG 1996: 1412).

Auch die Auswertung schriftlicher Zeugnisse stellt einen wichtigen Bestandteil der Altstraßenforschung dar. Hierzu zählen die Flur-, Gelände-, und Siedlungsnamenforschung sowie die Auswertung unveröffentlichter Urkunden und Akten. Aber auch Meilensteine mit schriftlichen Überlieferungen zählen zu den schriftlichen Quellen. Zusätzliche Hinweise können auch in bildlichen Darstellungen wie Landschaftsgemälden, Holzschnitten, Lithographien, Kupfer- und Stahlstichen enthalten sein. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass bei allen Bildern der individuellen Wahrnehmung und dem Zeitgeschmack des Künstlers Rechnung zu tragen ist (JÄGER 1993).

Durch die Synthese aller Einzelbefunde lassen sich schließlich eindeutige Aussagen über die Existenz, den Verlauf und die Funktion von Altstraßen treffen.

6.2 Der geschichtliche Hintergrund des Untersuchungsgebietes

Auch wenn die Mobilität des Menschen sich im Laufe der Zeit stark verändert hat, spielt sie eine wichtige Rolle. Da der Handel eine wichtige Motivation für das Reisen der Menschen ist, soll im Folgenden ein kurzer Abriss über die Handelsbeziehungen Regensburgs gegeben werden. Ist die Lage der Handelszentren bekannt, so sind die Leitlinien für den Verkehr ebenfalls gegeben. Auch die Siedlungsgeschichte muss hierbei berücksichtigt werden. Die begrenzte Tagesleistung von 18 bis 20 km spiegelt sich in der Anordnung der Siedlungen wider (WEIGEL 1959), wobei die Ortsnamenforschung eine wichtige Rolle spielt. Neben den Handelsstraßen werden auch die Königsstraßen (*viae regiae*) in Betracht gezogen, wenn sie sich auch nach SCHMID (1977) mit den allgemeinen Handelsstraßen deckten. Der folgende Abschnitt über den geschichtlichen Hintergrund

erhebt keinen Anspruch auf vollständige Dokumentation der Regensburger Vergangenheit, sondern fokussiert auf Ereignisse, die zur Motivation für das Reisen führten, wobei der Schwerpunkt auf den Ost - West - Beziehungen liegt. Ziel ist es schließlich, das kartierte Hohlwegsystem historisch einordnen zu können.

Die ältesten Spuren des Menschen wurden in Karsthöhlen der heutigen Gemeinde Etterzhausen gefunden und datieren in das Mesolithikum (um 10000 - 5000 v. Chr.). Grabhügel und Funde von Bronzenadeln, verschiedenen Ringen, sowie Keramik zeugen von einer Besiedlung in der Bronzezeit (KNOTT 1999: 100). Um 179 n. Chr. errichtete Kaiser Marc Aurel das Römerlager *Regino* oder auch *Castra Regina*. Aus *Regino* wurde im Mittelalter *Ratisbona* und schließlich das heutige Regensburg (KLEBEL 1958: 87). In den Quellen existieren noch weitaus mehr Bezeichnungen für die Stadt, auf die hier nicht weiter eingegangen wird. Ab ca. 540 n.Chr. herrschten die Agilolfinger in Regensburg. Anschließend übernahmen die Karolinger die Stadt, die durch den Brückenbau über die Donau um 792 n.Chr. das Handelsaufkommen der Stadt vorantrieben. Reger Handel wurde betrieben mit Ungarn, vor allem Vieh, Lederwaren und Wolle wurden getauscht. Ab 845 n.Chr. gewinnt das Kloster St. Emmeram an Bedeutung für den Handel. Die Emmeramer Mönche stellten aus den getrockneten Eiern von Schildläusen (*Coccus polonicus*¹) Purpurfarbe her und gründeten eine Farbindustrie. Gefärbt wurden kirchliche Tuche, die durch die Kaufleute bis in ferne Regionen gehandelt wurden. Den großen Bedarf an dem Rohstoff für die Farbe mussten die Bauern decken (SEIDL 1925: 300 ff). Den Höhepunkt hatte der Regensburger Fernhandel im 9. und 10. Jahrhundert erreicht. Gehandelt wurden Tuche aus eigener Produktion und aus Flandern. Von Osten wurden über die Donau Sklaven in die Stadt gebracht und es blühte der Sklavenhandel. Der Bau der Steinernen Brücke (1146 n.Chr.) förderte den Handel nach Böhmen, Mähren und Thüringen. Um fremde Kaufleute anzulocken und den Verkehr zu steigern, wurde

¹Schildlaus, die auf Kermes- oder Scharlacheichen (*Quercus coccifera* L.; *Quercus ilex*) heimisch ist und aus deren getrockneten Eiern der Färbestoff Scharlachrot bzw. Karminrot bzw. Karmesinrot hergestellt wird (MUNRO 2000).

1180 von Kaiser Friedrich I. das Brückenprivilegium erteilt, welches Zölle und Abgaben verbot (KOCH 1904: 14). Im 12. und 13. Jahrhundert hält der Handel mit französischen und flandrischen Tuchen Richtung Osten immer noch an.

Das „13. Jahrhundert [bedeutet] für Regensburg den Höhepunkt seiner politischen wie merkantilen Größe. Die Stadt besorgt den Austausch zwischen Osten und Westen, zwischen Norden und Süden, sie ist das Bindeglied zwischen Rhein und Donau, zwischen den baltischen Gebieten, Polen, Rußland, Italien. Den niederländischen Handel (Safran) weiß sie fast ausschließlich an sich zu halten.“
(KOCH 1904: 20).

Ein anderer Autor hingegen schreibt, mit

„dem Ende der Karolinger hatte Regensburg [...] seinen Zenit als politisches Machtzentrum überschritten und später nie wieder eine vergleichbare Rolle in der Reichspolitik gespielt. Die Bedeutung der Stadt als Konsumentenzentrum, als Absatzort für erlesene Luxuswaren muß stark zurückgegangen sein.“
(SCHÖNFELD 1973: 36)

Im Jahr 1486 waren der Regensburger Handel und die Wirtschaft so sehr verfallen, „daß die Stadt in ihrer Geldnot [...] sich dem bayerischen Herzog Albrecht IV. unterwarf“ (KLEBEL 1952: 2). Regensburg wurde von dem immer mächtiger werdenden Nürnberg abgelöst, welches sich zum Mittelpunkt des süddeutschen Handels entwickelte (FISCHER 1940: 155).

Der Regensburger Handel Richtung Westen ist belegt durch Maut- und Zollrechnungen am Naabübergang von Etterzhausen. Gehandelt wurde (Eintrag aus dem Jahre 1652): Salz, Eisen, Stahl, Leinwand, Geschmeide, niederländisches Tuch, Horn, Hausrat, Leder, Krämereien, Wein, Tabak, Pfeffer, Ingwer, Seife, Stockfisch, Kupferplatten, Zinngeschirr (KNOTT 1999: 107).

Zwar können aus den allgemeinen, überregionalen Betrachtungen der Handelszentren

die Leitlinien des Verkehrs ermittelt werden, zur Einordnung von lokalen Geländebefunden wie z.B. von Hohlwegen und Wegweisern bedarf es jedoch einer differenzierten Erläuterung der nächstgelegenen Bezugspunkte. Daher sind für die Einordnung der untersuchten Altstraßenabschnitte auch die Chroniken von Eilsbrunn und Etterzhausen, da sie in unmittelbarer Nähe der Geländebefunde liegen sowie Macht- Besitzverhältnisse von Kirche und Adel von Interesse.

Eilsbrunn wurde um ca. 800 n.Chr. gegründet. Die Vogtei über den Emmeramer Besitz übten seit 1282 die Herren von Abensberg, anschließend ab 1485 die Herzöge Bayerns aus. Seit dem 16. Jahrhundert gehörte Eilsbrunn mit Hoch- und Niedergerichtsbarkeit zum Kastenvogteigericht Kelheim, welches wiederum dem Rentamt Straubing zugeordnet war. 1857 wurde Eilsbrunn dem Landgericht Stadtamhof zugeordnet, ab 1929 zu Regensburg (HECHT⁴ 2003: 122 f). Ein enger Zusammenhang besteht zwischen Eilsbrunn und der Wallfahrtskirche von Mariaort. Sie wurde 1192 n.Chr. zum ersten Mal erwähnt und war der Pfarrei Eilsbrunn untergeordnet (PIZZIOLI 2000: 18).

Der Name Etterzhausen (*Eidrateshusa*) wird im 9. Jahrhundert zum ersten Mal erwähnt. Für das Jahr 977 liegt eine Urkunde von Kaiser Otto II. vor, die besagt, dass Etterzhausen eine Station des Königs auf der Reise von Regensburg nach Allstedt war. Ab 1180, nach der Machtübernahme der Wittelsbacher, war Etterzhausen Ministerialsitz. Erst 1486 bekam Etterzhausen seine erste Brücke über die Naab. Der Ort lag nun an der neuen Handelsstrecke von Regensburg nach Nürnberg, so dass es zu großem Verkehrsaufkommen kam (KNOTT 1999: 106).

Die Bedeutung Regensburgs als zentraler Handelsplatz im Mittelalter ist bekannt. Die Stadt war als Knotenpunkt der Nord - Süd- und Ost - West - Achse des Handels anzusehen. Das in dieser Arbeit behandelte Altstraßensystem ist dem Ost - West -System zuzuordnen, daher steht diese Achse in den folgenden Ausführungen im Vordergrund. Um Altstraßen mit lokaler Bedeutung als solche zu erkennen, ist es wichtig, die Besitzverhältnisse zu den verschiedenen Zeiten zu kennen. Daraus ergeben sich Streckenverbindungen, die z.B. genutzt wurden um die Ackerzinse und dergleichen, die in der Regel in

Naturalien, wie z.B. Vieh, Wein, Bier, Mehl, Leinwand, Tuch etc. (FREYTAG 1939: 365) entrichtet wurden, ihren Besitzern zukommen zu lassen. Die wichtigsten Grundbesitzer in diesem Zusammenhang waren die Kirche und der Adel.

Für diese Arbeit sind in der Umgebung Regensburgs in erster Linie die Kirchen von Mariaort und Eilsbrunn von Bedeutung, da diese allein durch ihre Lage in direktem Zusammenhang mit den Hohlwegtrassen in Verbindung stehen.

Die Ortschaft Mariaort (*Ort*) erscheint schon in alten Urkunden. „Im Jahr 1020 übergab der Edle Walthar dem Kloster St. Emmeram in Regensburg 10 Tagwerk Grund“ (PIZZIOLI 2000: 4). Um 1192 wird erstmals die Mariaorter Kirche schriftlich erwähnt, als der Priester der Kirche mit dem Pfarrer von Eilsbrunn in Streit geriet. Daraufhin wurde die Kirche, heute Wallfahrtskirche von Mariaort, der Pfarrei Eilsbrunn untergeordnet. Im Jahre 1498 geriet der Kirchenpropst von Mariaort, obwohl er u.a. im Besitz eines Weingartens bei Kneiting war und zahlreiche Stiftungen und Lehen empfing, in finanzielle Schwierigkeiten. Dadurch wurden der Kirche von Eilsbrunn zusätzliche Aufgaben zuteil. Um dem großen Zustrom der Wallfahrer gewachsen zu sein, wurde im Jahr 1776, durch Mitfinanzierung des Eilsbrunner Pfarrers, die neue Wallfahrtskirche fertiggestellt (PIZZIOLI 2000: 4).

Auf die lange bestehende Beziehung Eilsbrunns zum Kloster St. Emmeram weist das Kirchenpatronat des Hl. Wolfgang hin, der 972 Bischof von Regensburg war. Zum Kloster gehörte der Emmeramer Forst zwischen Eilsbrunn und Bruckdorf, der erst 1803 im Rahmen der Säkularisierung in Staatsbesitz übergegangen ist (FREYTAG 1939: 372). Die Eilsbrunner Kirche wurde 1031 zum ersten Mal urkundlich in einer Güterbeschreibung erwähnt und war seit Bestehen bis zum Jahre 1810 dem Regensburger Benediktinerkloster, Kloster St. Emmeram zugeordnet. Mit einer Ausnahme: 1659 wurde Eilsbrunn für sechs Jahre an das Benediktinerkloster Prüfening verpfändet. Eilsbrunn wurde die Mutterpfarrei eines ausgedehnten Gebietes im Umland Regensburgs: 1192 wurde Mariaort, 1338 Viehhausen, um 1475 Riegling und ab 1665 Alling der Gemeinde Eilsbrunn als Filiale unterstellt. Die im 12. Jahrhundert erbaute Kapelle von Alling war mit dem Kloster Prüll, bzw. Karthaus-Prüll verbunden (HECHT^A 2003: 121 ff).

Je nach Größe des Grundbesitzes hatten die Kirchen und Klöster mehrere Vögte und Untervögte. Karl der Große schrieb bei allen Bistümern und Abteien einen weltlichen Kirchenvogt vor. Die Vogteien waren wegen der damit verbundenen Rechte und Einkünfte beim Adel sehr beliebt, für die geistlichen Stellen hingegen eher lästig. Vom 13. Jahrhundert an übten die Abensberger die Vogtei lehensweise über vier Schranken, Eilsbrunn, Talhof, Prüfening und Riegling, aus. Im Jahr 1484 starb das Abensberger Geschlecht aus und der Besitz fiel an Herzog Albert von Bayern. Es wird angenommen, dass von 1070 bis 1322 ein nach dem Dorf benanntes Adelsgeschlecht ansässig war und die Untervögte stellte (FREYTAG 1939: 366).

Erste Hinweise über die Grundbesitzverhältnisse von Etterzhausen (früher *Eidratesthusa*), reichen zurück bis ca. 863-885 n. Chr. Es wird berichtet, dass in dieser Zeitspanne 200 Tagwerk Ackerland vom Regensburger Bischof Ambricho einer Privatperson, Lantpert, überlassen wurden. Lantpert war demnach der erste Großgrundbesitzer Etterzhausens. Möglicherweise gehen auf diese Schenkung die Rechte des Klosters St. Emmeram zurück, welches bis ins 19. Jahrhundert Fischereirechte in der Naab bei Etterzhausen sowie die Lehensherrschaft über eine Reihe von Äckern und Wiesen besaß (KIBLE 1996: 53 ff).

6.3 Historische Karten des Untersuchungsgebietes

Historische Karten reichen bis etwa ins 15. Jahrhundert zurück und sind für die Altstraßenforschung nur mit Einschränkungen verwendbar. Es ist zu beachten, dass noch bis ins 18. Jahrhundert die Karten nicht auf modernen Vermessungsgrundlagen beruhen und daher topographisch als höchst ungenau zu bezeichnen sind. Sie stellen oft sogenannte Kartengemälde dar, wobei das interessierende Element auf Kosten anderer Information hervorgehoben wurde. Dies bedeutet, dass Verläufe der Straßen und auch Wegklassen nur rudimentär unterschieden werden können. Viele der vorhandenen Altkarten, die Verwendung finden, sind für ganz andere Zwecke angefertigt worden, als für die klein- und großräumige Analyse des Verkehrswegenetzes (HEINLE 1999: 340 ff).

Für den zu untersuchenden Zeitraum vom 6. bis Anfang 16. Jahrhundert konnten keine historischen Karten oder Kartengemälde gefunden werden. Erst 1568 erscheint das Werk „Bairische Landtafeln“ von APIAN, AMMAN & WOLF² im Maßstab 1:144000. Auf Blatt 24 ist der zu untersuchende Ausschnitt Regensburg - Riegling - Eulsprunn abgebildet. Straßen- bzw. Wegsignaturen sind in diesem Bereich jedoch nicht zu finden. Weder die „Alte Nürnberger Straße“, noch die „Neue Nürnberger Straße“ sind dargestellt. 1651 wurde die Karte von APIAN, AMMAN & STRAUSS³ im Maßstab 1:140000 neu aufgelegt, die gesuchten Wegverbindungen sind jedoch auch hier nicht enthalten.

Eine weitere Karte wurde im Jahr 1579 von APIAN & WEINER⁴ im Maßstab 1:850000 herausgegeben. Eine Straßensignatur fehlt jedoch auch auf dieser Karte.

Im Jahr 1743 bringt LIDL⁵ die „Neue Geographische Landkarte, ...“ im Maßstab 1:700000 heraus, in welcher die „Neue Nürnberger Straße“ mit ihrem Verlauf über ‚Arlasperg‘ und ‚Luppurg‘ nach Parsberg eingetragen ist. Als erste Karte mit Streckenangaben wurde die „Postkarte von Bayern ...“ von SEITZ, LOEHLE & LOEHLE⁶ 1840 im Maßstab 1:710000 herausgegeben.

Für die Fragestellung dieser Arbeit hat sich aus der Auswertung historischer Karten keine zusätzliche Erkenntnis ergeben. Die gesuchte Straße zwischen Kleinprüfening und Eilsbrunn ist in keiner der historischen Karten eingetragen, selbst die neue Route von Regensburg nach Nürnberg ist erst in der Karte von 1743 eingetragen.

²Apian, Philipp. Amman, Jost. Wolf, Hieronymus (1568): Bairische Landtafeln, vierundzwanzig; 1:144000

³Apian, Philipp. Amman, Jost, Strauß, Wolf (~1568): Chorographia Bavariae; 1:140000; 1568, erschienen nach 1651

⁴Apian, Philipp. Weiner, Peter (1579): Kurze Beschreibung des gantzen Fürstentums Ober und Nidern Baÿrn; 1:850000

⁵Lidl, Johann Jacob (1743): Neue Geographische Landkarte, In welcher das gantze Chur-Herzogtum Ober und Nieder Bayren, sambt der gantzen Ober Bayrischen Pfaltz,...; 1:700000

⁶Seitz, Johann Baptist. Loehle, Johann. Loehle, Franz (1840): Postkarte von Bayern, Württemberg Und Baden; 1:710000

6.4 Flussübergänge bei Regensburg

Regensburg liegt im Schnittpunkt der Flüsse Donau, Naab und Regen. Für den Verkehr zu Wasser ist dies ein Vorteil, für den Landverkehr stellen die Gewässer jedoch ein Hindernis dar. Da Regensburg im 9. und 10. Jahrhundert ein Fernhandelszentrum war (SCHÖNFELD 1973), in welchem zwischen Frankreich und Ungarn sowie Italien und Polen die Warenzüge der Händler verkehrten (KRAUS 1989), musste eine Flussüberquerungsmöglichkeit vorhanden sein. Für diese Zeit sind zwei Übergänge bekannt. Einen Übergang stellte die Schiffbrücke dar, welche Karl der Große im Jahre 792 auf der Höhe des Nordtores des Römerlagers erbauen ließ. Da sich diese Brücke öffnen ließ, stand sie nicht im Konflikt mit dem Schiffsverkehr auf der Donau (PFALLER 1936). Ein zweiter Übergang befand sich westlich der Stadt in Höhe von Kleinprüfening. Nach HOFMEISTER et al. (1999) errichteten die Römer um 160 n.Chr. an dieser Stelle am rechten Donauufer vier Wachtürme, um diesen einzigen Flussübergang zu sichern. Ab dem 9. Jahrhundert ist nach HOFMEISTER et al. (1999) eine Überfuhr (mittelalterliche Bezeichnung für Fähre) bei Prüfening vorhanden. Mit der Strömung ließ sich die Fähre von einem zum anderen Ufer treiben, ohne von einem Seil gezogen zu werden. Im Mittelalter hatte diese Fähre dank des umfangreichen Handels zwischen Ost und West ihre größte Bedeutung und brachte dem Kloster Prüfening, in dessen Besitz sie war, beträchtliche Einkünfte ein (RESCH 1821). Die guten Handelsbeziehungen nach Westen, mit Frankreich, sind nach SCHÖNFELD (1973) wohl auf das seit dem 9. Jahrhundert bestehende Geschäft mit Sklaven aus Osteuropa zurückzuführen. Von einer weiteren Überfuhr, welche bei Winzer, bzw. am rechten Donauufer am Weinweg gelegen hat, berichtet FREYTAG (1938: 194 f). Er findet eine Bestätigung für einen Anlegeplatz mit dem Namen Winzer im Jahr 1062 und einen weiteren Hinweis bezüglich der Überfuhr für das Jahr 1378, der sich aus Mistlieferungen an einen verpachteten Weingarten des Klosters St. Jakob ergibt.

Mit Fertigstellung der Steinernen Brücke im Jahre 1146 wurde, wie KOCH (1904) beschreibt, der Handel auf der Nord - Süd - Achse Bayerns mit Böhmen, Mähren und Thüringen verbessert und um fremde Kaufleute anzulocken, wurde 1180 durch Kaiser Friedrich I. das Brückenprivilegium erteilt. Dies verbot Zölle und Abgaben für die Stei-

nerne Brücke.

Eine weitere Brücke im Arbeitsgebiet ist jene von Etterzhausen. Auf Anweisung von Herzog Albrecht IV. wurde 1486 die Landstraße nach Nürnberg über Etterzhausen verlegt. Dadurch kam die Ortschaft zu ihrer ersten Brücke, wo zuvor nur ein Fährübergang bestand (KNOTT 1999).

6.5 Wegweiser, Feld-, Flur- und Ortsnamen

Um weitere Anhaltspunkte bezüglich alter Straßenverläufe zu finden, werden im Folgenden die Wegweiser, Feld-, Flur- und Ortsnamen im Arbeitsgebiet sowie der näheren Umgebung erläutert.

Den ältesten Wegweiser des Arbeitsgebiets stellen die Hügelgräber im Weiherholz zwischen Eilsbrunn und Kleinprüfening dar. Ein weiterer Wegweiser, dessen Alter jedoch nicht genau bestimmt werden konnte, ist der „Weiße Markstein“, ein Grenzstein auf der Albhochfläche nordöstlich von Eilsbrunn. Der Grenzstein stellte nach FREYTAG (1939) in der Zeit zwischen Anfang 16. Jahrhundert und Ende 18.

Jahrhundert die Grenze des bayerischen Gebietes dar. Ein weiterer Markstein, ein Emmeramer Markstein, wird bei FREYTAG (1939) als Orientierungspunkt genannt. Er hat sich auf dem Flurstück „Braunkreuzwiese“ (Flurnummer 311, Gemarkung Eilsbrunn) befunden und trennte 1804 das Gorjholz, Weiherholz und das Prüfening Gemeindeholz voneinander.



Abbildung 6.1: „Beim Hohen Kreuz“
Steinkreuz zwischen
zwei Lärchen an
der Straße zwischen
Eilsbrunn und Riegling

Der Flurname „Braunkreuzwiese“ bzw. „braune Kreuzwiese“ ist auf ein von FREYTAG (1939) beschriebenes braunes Kreuz, das „Braunkreuz“ zurückzuführen. Der exakte Standort des Kreuzes konnte nicht ermittelt werden, es sollte sich jedoch oberhalb der „Braunkreuzwiese“ befunden haben. Der Flurname „Brunnfeld“, welcher ein Flurstück zwischen Eilsbrunn und dem „Weißen Markstein“ beschreibt, ist auf eine Quelle zurückzuführen. Der „Hopfengarten“ nördlich von Eilsbrunn trägt seinen Namen nach einem Hopfenanbaugebiet. Es ist überliefert, dass bereits 1031 die Emmeramer Dienstleute in Eilsbrunn Bier an das Kloster abzuliefern hatten (WITTMANN 1856). Weitere Hinweise auf die Nutzung geben die Flurbezeichnungen „Goriholz“, „Gorimühl“ und „Gorimühl-Wiese“. Sie beschreiben die Zugehörigkeit zum „Gorihof“ bzw. „Gorjhof“ sowie ihre Art der Nutzung. Für das Jahr 1710 ist die Zugehörigkeit von Grafenried, wo der Gorjhof steht, zur Abtei Prüfening belegt. Neben dem erwähnten „Braunkreuz“ gibt es noch das „Hohe Kreuz“, ein Steinkreuz, welches an der Straße zwischen Eilsbrunn und Riegling zwischen zwei Lärchen steht (siehe Abbildung 6.1). Weitere Hinweise sind bei den Wegbezeichnungen zu finden. So wird der Weg vom Gorjhof nach Mariaort als „Orter Geh-, Kirchsteig“ „Orterweg am Gorjhof“ oder „Pfarrersteig“ bezeichnet. Er führt von Eilsbrunn durch das Weiherholz auf direktem Wege zur Kirche von Mariaort. Südlich des „Pfarrersteiges“ verläuft der „Stadtweg“ oder „Regensburger Stadtweg“. Er führt von Eilsbrunn durch das Weiherholz nach Kleinprüfening. Der „Emmeramer Steig“ führt von der Prüfening Fähr über Riegling zur Braunkreuzwiese und stellt für FREYTAG (1939: 372) „ohne Zweifel die älteste Verbindung Regensburgs mit dem westlichen Gebiete dar.“

Betrachtet man die „Namenlandschaft“ in und um das Arbeitsgebiet, so sind Orte mit folgenden Endungen zu finden: -ing, -hausen, -hofen, -ried, -brunn.

Beispiele für die -ing - Endung finden sich z.B. bei Alling, Kleinprüfening, Sinzing und Riegling. Diese Endung wird in engen Zusammenhang mit den Merowingern gebracht. Durch zusätzliche merowingerzeitliche Grabfunde kann die Ortschaft Alling auf die Merowinger zurückgeführt werden. Kleinprüfening tritt nach SCHOPPER (1990) ebenfalls im Zusammenhang mit Reihengräbern aus dem 6. / 7. Jahrhundert auf, was auf die

Merowingerzeit hindeutet. Allerdings steckt in Prüfening der romanische Personennamen *Probinus* (Pruvin), was SCHUH (1989) an einem merowingerzeitlichen Ursprung zweifeln lässt und vermutet eine „bajuwarisierte“ romanische Form. Er betont jedoch, dass im bairischen Gesamtzusammenhang romanische Personennamen im Frühmittelalter nicht selten sind und auch in Geschichtsquellen des 8. Jahrhunderts auftauchen. SCHWARZ (1952) unterscheidet in seiner Arbeit zwischen Großprüfening und Kleinprüfening, wobei er zuletzt genannten als jüngeren Ausbauort betrachtet. Auch für Sinzing und Riegling wird eine merowingerzeitliche Einordnung angenommen. Zu erwähnen sind auch hier die merowingerzeitlichen Gräberfelder, die bei SCHWARZ (1975), erweitert von MENKE (1988), genannt werden.

Etterzhausen wird von MENKE (1988) und KNOTT (1999) auf den Namen Eidrateshusa (Personenname Eidrat) zurückgeführt und auf 863-885 datiert. SCHWARZ (1952) stützt diese Aussage, da er Etterzhausen einem merowingerzeitlichen Reihengräberfeld des 6./7. Jahrhunderts zuordnet. WEIGEL (1959) liest im Bezug auf die Altstraßenforschung aus dem Suffix „-hausen“ einen Hinweis auf Rast- oder Gasthaus. Dem Suffix „-hofen“ ordnet WEIGEL (1959) die Bedeutung eines spätmerowingischen Rasthofes zu und auch SCHWARZ (1952) setzt die Gründung der „-hofen“- Orte ins 7. bis 10. Jahrhundert.

Grafenried ist als ein typischer Rodungsname zu betrachten. Der Suffix „-ried“ ist in der Oberpfalz weit verbreitet und muss bei der zeitlichen Einordnung je nach Region unterschiedlich behandelt werden. Der hier vorliegende Ortsname kann nicht exakt in die Besiedlungsgeschichte eingeordnet werden. Es sei aber darauf hingewiesen, dass SCHUH (1989) die frühesten Belege für diese Namensgruppe für das Jahr 1020 (Diepenried bei Nittenau) findet.

6.6 Die Verkehrsverbindung von Regensburg nach Nürnberg

Auf Grund seiner Lage und Ausrichtung stellt das kartierte Hohlwegsystem eine Ost - West - Verbindung dar. Daher wird im Folgenden näher auf die Verkehrsverbindung Regensburg - Nürnberg eingegangen, welche als ein Bindeglied der Strecke zwischen Donau und Main eingeordnet werden kann (SCHMID 1977).

Die Strecke von Regensburg nach Nürnberg ist bis zur Gegenwart eine wichtige Linie für den Ost - West - Handel. Heute verbinden eine Eisenbahnlinie, die Autobahn A3 und die Bundesstraße B8 die beiden Städte. Der jüngste Verkehrsweg ist die 1971 fertig gestellte Bundesautobahn A3 und bereits seit dem Jahr 1859 existiert eine Bahnverbindung nach Nürnberg. Allerdings erst nach Fertigstellung der Streckenführung über Neumarkt im Jahr 1873 verläuft der Bahnverkehr über die Mariaorter Brücke (JACOBSON 2000).

Die Verbindung der beiden Städte durch eine Landstraße besteht seit ihren frühesten Handelsbeziehungen, die seit dem Mittelalter gesichert sind. Über weite Strecken deckt sich der damalige Straßenverlauf mit jenem der heutigen Bundesstraße B8. Im Folgenden wird die Veränderung des Streckenverlaufes zwischen Regensburg / Stadtamhof und Deuerling näher erläutert.

Heute führt die B8 entlang des Nordufers der Donau bis Mariaort und von dort am nördlichen Naabufer entlang nach Etterzhausen, wo die Naab durch eine Brücke überquert wird. Anschließend wird die Trasse auf die Albhochfläche geführt und verläuft vorbei an Pollenried nach Deuerling. Diese Wegführung besteht seit 1830, seit dem Jahr, in welchem in Etterzhausen die dritte Naabbrücke fertig gestellt wurde. In der Zeit von 1486 bis 1830 verlief die Straße nach KIBLE (1996) unter dem Namen „Neue Nürnberger Straße“ von Stadtamhof kommend über Winzer und Kneiting („alte Kneitinger Straße“) nach Etterzhausen. Hier wurde die Naab überquert, dann ging es durch die alte Ortschaft über die Tunnelstraße durch den Hammergraben hinauf zum Nickelberg und von dort Richtung Deuerling (KIBLE 1996).

Versucht man, den Trassenverlauf weiter in die Vergangenheit zurückzuverfolgen, werden die Streckenangaben und die zugehörigen Zeitangaben lückenhafter. Die Verbindung von Nürnberg nach Regensburg ist in zahlreichen Arbeiten der Altstraßenforschung, unter anderem von DOLLACKER (1919, 1938), BIRK (1934), EMMERICH (1955), BAUER (1963), KRÜGER (1974), STARK (1978) und MANSKE (2000), beschrieben worden. Eine detaillierte zeitliche Aufschlüsselung, wann welche Routen verwendet wurden, kann sich jedoch nur auf ein sehr begrenztes Gebiet beziehen und die synchrone Nutzung unterschiedlicher Trassen darf dabei niemals ausgeschlossen werden.

Es ist bekannt, dass man im „Mittelalter [...] bei einer Reise nach dem Westen die Stadt durch das Prebrunntor [verließ] und mit der Prüfeninger Fähre über die Donau [setzte]. So blieb es bis ins 15. Jahrhundert hinein“ (FREYTAG 1938: 193). Vom Prebrunntor verlief die „Alte Nürnberger Straße“ südlich der Donau bis Prüfening, dort wurde mit einer Fähre übergesetzt, anschließend ging es weiter Richtung Eilsbrunn und Deuerling. Nach WALDERDORFF (1896) verlief die Straße am rechten Naabufer. SCHOPPER (1990) bringt den Streckenabschnitt zwischen Kleinprüfening und Eilsbrunn in Zusammenhang mit den merowingerzeitlichen Reihengräbern. Er sieht Kleinprüfening als eine Siedlung an, welche im Gegensatz zu den bajuwarischen Siedlungen des Gäubodens nicht vom fruchtbaren Acker, sondern von den infrastrukturellen Verhältnissen profitierte. SCHMID (1977) geht davon aus, dass die älteste und bis zum 12./13. Jahrhundert bestehende direkte Trasse, von Regensburg in den Nürnberger Raum, sich am Tal der Schwarzen Laaber orientierte und über Laaber, Beratzhausen, Parsberg nach Nordwesten verlaufen ist.

Mit der Fertigstellung der Steinernen Brücke im Jahr 1146 gab es einen weiteren sicheren und bequemen Donauübergang, welcher auf das gesamte West - Ost - Straßensystem Einfluss nahm. Der Hauptverkehr vom nördlichen Frankreich in den Südosten Europas wandte sich dadurch nach SCHMID (1977) von der bisher im Vordergrund stehenden Nibelungenstraße (Worms - Bürstadt - Ladenburg - Wiesloch - Sinsheim - Wimpfen - Neuenstadt an der Linde - Öhringen - Westernach - Untermünkheim - Hessental - Ell-

wangen - das Ries - Treuchtlingen an der Altmühl - Dollnstein - Nassenfels - Pförring) ab. Man benutzte nun lieber den Weg von Worms über Miltenberg, Würzburg und Nürnberg nach Regensburg. Durch das bei KOCH (1904) erwähnte Brückenprivilegium von Kaiser Friedrich I., welches ab 1180 Zölle und Abgaben für die Brückenüberquerung verbot, bot sich hier die Donauüberquerung an. Schon zuvor, bereits um 792, wurde im Bereich der Steineren Brücke eine Schiffbrücke erbaut.

„Die Straße nach Franken gieng aber nicht über diese Schiffbrücke, sondern durch die westliche Stadtflur, bei Priefling [(= Prüfening)] vorbei gegen Maria-Ort, allwo die Reisenden auf einer fliegenden Brücke übergesetzt wurden. [...] Auch noch lange nach der Erbauung der Steinernen Brücke [...] war dieser Weg als Hauptstraße nach Franken beibehalten worden, weil die Kunststraße bis Winzer erst hergestellt, nämlich das lockere Ufer aufgemauert, und an Strebepfeiler gelehnt, Felsengebirge zu Flächen geebnet und stürzende Weinberge und Felder - Abhänge durch Dämme aufgehalten werden mußten“ (RESCH 1821: 11 f).

Den Trassenverlauf durch das Prebrunntor, über Prüfening nach Eilsbrunn beschreibt auch FREYTAG (1938). Entlang der Route am Nordufer treten bei Winzer und Pfaffenstein Felsen „hart an den Fluss“ die den Verkehr stark behinderten, auch wenn sie durch steile Schrägwege auf den Höhen umgangen werden konnten. Für größere Fuhrwerke war dies aber unmöglich und die Reisenden

„hatten vorerst an der neuen Straße keine reine Freude. So beschwerten sich die Nürnberger darüber, daß ihre Güterballen in dem engen Fahrweg unterhalb Winzer beschädigt würden, ja auch Menschen waren in diesem engen Passe erdrückt worden“ (FREYTAG 1938: 194).

Noch 1505 war die neue Straße nach FREYTAG (1938) nicht voll benützbar. Für DOLLACKER (1938) verlief die „Alte Nürnberger Landstraße“ von Deuerling kommend über

Etterzhausen, wo die Naab durch eine Brücke überquert wurde, und Kneiting nach Regensburg. Auch der „Wegzeyger“ *Schirmers* von 1613 (abgebildet in HÖHN 1985) weist auf die Etappe *Edertshausen* (= Etterzhausen) hin.

In der Zeit zwischen der Fertigstellung der Steinernen Brücke 1146 und dem 15. Jahrhundert, ist davon auszugehen, dass sowohl eine Trasse am Nordufer der Donau, bzw. über Kneiting, als auch eine Trasse über Prüfening benutzt wurde. Auf der einen Seite standen die Interessen des einflussreichen Klosters Prüfening, welches versuchte, „dieser neuen Straße so viel als möglich entgegen zu wirken, weil es bisher das Fahrgeld bezogen, welches jährlich ein Ansehnliches eintrug“ (RESCH 1821: 12). Auf der anderen Seite versuchte Kaiser Friedrich I. durch sein Brückenprivilegium den Verkehr über die Steinerne Brücke zu leiten. Auch wenn dies in erster Linie dem Verkehr nach Norden zu Gute kam, war es auch für den Verkehr Richtung Westen eine günstige Überquerungsmöglichkeit über die Donau. Bei Etterzhausen konnte nach KNOTT (1999) bis 1314 mittels einer Fähre die Naab überquert werden, von wo aus man auf die Albhochfläche gelangen konnte. Die Anlage der neuen Nürnberger Straße durch Herzog Albrecht IV., welche für Etterzhausen 1486 die erste Naabbrücke brachte (KNOTT 1999), führte trotz der Rückkehr der Stadt ins Reichsverhältnis 1492 dazu, dass der alte Verkehrsweg durch das Prebrunnor lahmgelegt wurde (FREYTAG 1938).

SCHMID (1977: 13) weist für das Jahr 803 nach, dass zwischen Regensburg und dem Main eine Straße existierte, „die auf der Höhe der Nordwestecke des Römerlagers mit der Fähre über die Donau setzte, durch den Schelmengraben (Regensburg - Steinweg) auf die Hochebene zwischen Naab und Regen führte, in Premberg bei Burglengenfeld das Naabtal erreichte, durch das Vils- und Lauterbachtal nach Lauterhofen und weiter über Altdorf nach Fürth führte“.

Anhand der geschilderten Wegbeschreibungen und bereits erarbeiteter Altwegekarten lassen sich für den westlich an Regensburg anschließenden Raum die möglichen Trassenverläufe konstruieren (vgl. Beilage 1). Auf die Darstellung einer weiteren zeitlichen Untergliederung wird verzichtet, da eine Parallelnutzung nicht ausgeschlossen werden kann.

6.7 Synthese von Geoarchiven und historischen Daten sowie Kategorisierung der Hohlwege

Die geographisch - geomorphologischen Untersuchungen sind zunächst unabhängig von den geschichtlichen Studien betrieben worden. Im Arbeitsgebiet westlich von Regensburg wurden Formen linearer Bodenerosion gefunden, kartiert und vermessen. Als auslösender Prozess wird die anthropogen induzierte Hohlwegeintiefung festgestellt. Aus den Daten der Geländeaufnahme konnte die Masse der Hohlwegerosion auf 44545 ± 8308 t beziffert werden. Anhand einer Detailstudie sollte der Erosionsprozess zeitlich gegliedert werden. Jedoch war dies mit den verfügbaren physikalischen Datierungsmethoden nicht möglich. Um die Entstehung der Hohlwege ihrer Funktion zuzuordnen und in einen geschichtlichen Kontext zu stellen, müssen geographische und geschichtswissenschaftliche Ansätze, wie JÄGER (1993) vorschlägt, ineinander greifen.

Betrachtet man die zwei Wegebündel, welche von Kleinprüfening aus auf die Hochfläche ziehen und sich im Bereich des Parkplatzes Grafenried der heutigen Autobahn A3 Regensburg - Nürnberg treffen, wird der Ost - West - Charakter der Trassenführung deutlich, wobei die Streckenführung im Gelände durch das Relief vorgegeben wird. Zwar ist bekannt, dass Altstraßen große Steigungen in Kauf nehmen, um auf direktem Wege auf die Höhenrücken zu gelangen und Umwege zu vermeiden, jedoch stoßen die Zugtiere auch an ihre Grenzen. Bei Betrachtung der Hangneigungskarte (Abbildung 5.7) wird deutlich, dass bei Kleinprüfening die beste Möglichkeit bestand, einen Weg auf die Hochfläche zu bahnen. Als Wegweiser waren bereits bronzezeitliche Hügelgräber vorhanden. Die maximalen Hangneigungen liegen bei dieser Wegführung bei 8° . Eine weitere Variante bot sich bei Riegling. Bei dieser muss jedoch eine Teilstrecke mit 13° Hangneigung überwunden werden.

Das südliche Wegebündel deckt sich mit dem Verlauf des „Emmeramer Steigs“, wodurch mindestens eine lokale Bedeutung für diese Hohlwegspuren gesichert ist. Es handelt sich um eine Verbindungslinie des Klosters Emmeram in den klösterlichen Forst, aber auch zum Ort Eilsbrunn. Von Eilsbrunn abzuliefernde Abgaben sind auf dieser Strecke trans-

portiert worden. Aus einer Güterbeschreibung von 1031 geht hervor, welche Abgaben von der *curtis* ⁷ Eilsbrunn an das Emmeramer Kloster abzuliefern sind (FREYTAG 1939). Hierdurch wird der Hohlwegeintiefungsprozess im Bereich des „Emmeramer Steigs“ seit dem 11. Jahrhundert bestätigt.

Bei dem nördlichen Hohlwegbündel ist zunächst die lokale Bedeutung als Verbindungslinie zwischen Eilsbrunn und der Kirche von Mariaort zu nennen. Erstmals erwähnt wurde die Kirche um 1192, und aus dem 13. Jahrhundert gibt es erste Urkunden über Abgaben, die belegen, dass Ort (= Mariaort) Abgaben an den Pfarrer der Kirche von Eilsbrunn zu leisten hatte (MOTYKA 1962). Dies belegt die Existenz der Verbindung zwischen der Kirche von Mariaort und Eilsbrunn mindestens seit dem 13. Jahrhundert.

In Anbetracht der Macht und Bedeutung Regensburgs, welches bereits im 9. und 10. Jahrhundert ein Fernhandelszentrum war (SCHÖNFELD 1972), und durch die Fertigstellung der Steinernen Brücke, welche nach HÖHN (1985) eine Verlagerung der Fernhandelsstrecke auf die Route über Würzburg - Nürnberg - Regensburg - Wien - Budapest bewirkte, muss in und um Regensburg ein starkes Verkehrsaufkommen geherrscht haben. Dies führt zu der Annahme, dass mehrere parallele Trassen gleichzeitig in Gebrauch waren, so auch der Abschnitt im Weiherholz zwischen Kleinprüfening und Eilsbrunn. Neben der lokalen Bedeutung wird dem von Osten nach Westen verlaufenden Hohlwegsystem des Arbeitsgebietes auch eine überregionale Funktion für den Fernhandelsverkehr zugeordnet. Gegen Ende des 15. Jahrhunderts nimmt der Regensburger Handel, einhergehend mit dem wirtschaftlichen Verfall der Stadt, stark ab, wodurch einige der ehemaligen Trassen nicht mehr benötigt werden und die Bodenerosion zum Stillstand kommt. Zudem wird 1486 die „Neue Nürnberger Straße“ über Etterzhausen fertig gestellt, die nachweislich die Route über Prüfening lahmlegte.

SCHOPPER (1990) bringt die Hohlwege bei Kleinprüfening mit der Merowingerzeit in Verbindung, wofür jedoch weder durch die physisch-geographischen Untersuchungen noch in der Literatur zusätzliche Hinweise gefunden werden konnten. Es hat sich gezeigt,

⁷betriebsähnliche Zusammenfassung des in einer Gegend liegenden Besitzes an Gütern, die einem Meierhofe als der Zentralstelle untergeordnet waren

dass der Geländeabschnitt zwischen Kleinprüfening und Eilsbrunn Teil der ehemaligen Landstraße von Regensburg nach Nürnberg gewesen ist. Der Beginn der Hohlwegeintiefung wird daher in die Zeitspanne 7.-9. Jahrhundert gestellt. Zum Erliegen kamen der Verkehr und die Erosion im ausgehenden 15. und Anfang des 16. Jahrhunderts.

Das Hohlwegsystem im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes zwischen Waltenhofen und Grafenried ist Teil der Verbindung dieser beiden Orte. Die Hohlwegeintiefung ist aber nur zum Teil auf diesen Verbindungsweg zurückzuführen. Auch die Forstwirtschaft hat im Goriholz zur Bodenerosion beigetragen, da einige Hohlwegtrassen auf das Holzrücken zurückzuführen sind. Die Holzwege laufen in Richtung des größten Gefälles und enden im Schlag. Durch rückschreitende Erosion haben sich die erosiv gebildeten Tiefenlinien anschließend im oberen Bereich verzweigt. Da der Geländebereich unterhalb der Hohlwege durch die baulichen Maßnahmen für die Quellfassung stark verändert wurde, sind die korrelierten Sedimente nicht mehr zu erfassen.

7 Diskussion der Ergebnisse

Die Diskussion der Ergebnisse dieser Arbeit gliedert sich in zwei Abschnitte. Zunächst werden die Ergebnisse der physisch-geographischen Arbeiten, insbesondere der geophysikalischen Prospektion beurteilt. Anschließend ist die Eingliederung der geomorphologischen Prozesse in den historischen Hintergrund zu diskutieren.

Um, ausgehend von den Bohrungen und Profilgruben, eine zweidimensionale Erfassung der Horizonte bzw. Schichtgrenzen zu erreichen, wurden die Refraktionsseismik und das Georadar eingesetzt. Die physikalischen Gegebenheiten des Bodensubstrates, wie z.B. hohe Tongehalte sowie die geringen Horizont-/Schichtmächtigkeiten, waren von Anfang an als stark limitierende Faktoren bekannt. Daher wurde von einer deutlich geringeren Eindringtiefe als bei SMITH & JOL (1995) ausgegangen.

Beim Einsatz des Georadars zeigt sich, dass unter Verwendung von 500 MHz - Antennen eine Eindringtiefe von 0,5 m kaum überschritten wird und somit die Zieltiefe von maximal ca. 2,5 m nicht erreicht wird. Die Diskrepanz zur maximal möglichen Eindringtiefe, die sich aus Abbildung 4.5 auf etwa 12 m extrapolieren lässt, ist enorm. Eine Verringerung der Frequenz auf 200 MHz ermöglicht zwar eine Erkundung bis etwa maximal 2,0 m, jedoch zeigte sich dieses unabgeschirmte Antennenpaar als sehr störungsanfällig. Es hat den Anschein, dass eine enge Beziehung zwischen Signalqualität und Vegetation besteht. Im Einsatzgebiet findet man eine dichte, bis zu 30 cm hohe Bodenvegetation vor, die für die Untersuchungen nicht entfernt werden konnte, wodurch eine reduzierte Ankopplung der Antennen am Untergrund bedingt war. Inwiefern sich die oberirdischen Teile der Bäume auf das Radarbild auswirken, konnte nicht geklärt werden. Da die 200 MHz - Antennen in alle Richtungen gleich stark senden und aus allen Richtungen Signale

aufnehmen, ist von einer oberirdischen Beeinträchtigung des Bodensignals auszugehen. Der Einsatz der 100 MHz - Antennen brachte das beste Ergebnis. Trotz der schwierigen Bedingungen konnte die Zieltiefe erreicht und Schichten differenziert werden. Durch die Wahl der niedrigen Frequenz verringert sich die vertikale Auflösung der Methode so weit, dass keine weiteren Details der inneren Struktur des Schwemmfächerkörpers sichtbar gemacht werden können. Nach BASSON (1992) liegt die vertikale Auflösung der 100 MHz - Antennen im Bodensubstrat bei 24 - 87 cm, gegenüber 5 - 17,5 cm der 500 MHz - Antennen. Zwischen Schwemmfächerkörper und Liegendem ist kein scharfer Substratwechsel, sondern nur eine geringfügige Verschiebung der Korngrößenverteilung ausgeprägt. Entsprechend ist im Radargramm ein schwacher Kontrast am Schichtwechsel vorhanden. Die horizontale Abgrenzung von Kolluvien gegen native Böden birgt Probleme. Detektiert man keine innere Struktur im nativen Boden, lässt sich nur der Schichtwechsel zwischen gebildetem Boden und Anstehendem, bzw. Ausgangssubstrat visualisieren. Eine horizontale Substratänderung lässt sich dann im Radarbild interpretieren, wenn nativer Boden und Kolluvium unterschiedliche Zeit - Tiefenfunktionen ausweisen. Ist dies der Fall, kommt es zu einer Phasenverschiebung, die als horizontaler Substratwechsel zu deuten ist.

Bei der vorliegenden Arbeit sollten mit dem Georadar detaillierte Informationen über den Schwemmfächeraufbau gewonnen, insbesondere das Volumen der Vollform bestimmt werden. Über den Schwemmfächeraufbau konnte das Georadar nur insoweit Informationen liefern, als dass die Dielektrizitätszahl des aus den Bohrungen bekannten mehrgliedrigen Kolluviums so gering schwankt, dass keine Schichtdifferenzierung möglich ist. Da die vertikale Auflösung der beim vorliegenden Substrat zu verwendenden Antennen zu gering ist, muss die Tiefeninformation aus den Bohrungen übernommen werden. Insgesamt hat sich gezeigt, dass auch unter schwierigen Bedingungen durch die richtige Antennenwahl mit dem Georadar Untergrundinformationen gewonnen werden können, wenngleich Abstriche in der vertikalen Auflösung gemacht werden müssen.

In einem weiteren Ansatz wurde mit der Refraktionsseismik die Grenze zwischen dem Schwemmfächerkörper und dem Liegendem untersucht. Durch die Wahl geringer Geo-

phonabstände konnte mit einer Auslage von zwölf Geophonen die gesuchte Grenze gefunden werden. Bei Liegenden handelt es sich um einen fBt-Horizont, der jedoch nicht lückenlos vorliegt, wodurch es zu Unschärfen im Seismikprofil kommt. Dies wird bei der Modellierung durch den unregelmäßigen Verlauf der Grenzflächen und der Schwankungen in den ermittelten Geschwindigkeiten der einzelnen Auslagen deutlich. Für eine Volumenberechnung der hier geforderten Auflösung wird das Ergebnis der Refraktionsseismik als zu grob erachtet. Für die Bearbeitung größerer Areale und unter Verwendung größerer Fehlertoleranzen, als es bei der vorliegenden Arbeit der Fall ist, eignet sich, wie auch HECHT (2003) zeigt, die Refraktionsseismik, um Hangsedimente und Kolluvienmächtigkeiten zu erfassen.

Mit großem Zeit- und Personalaufwand wird in einem nahezu geschlossenem System eine Erosionsbilanzierung durchgeführt. Am besten greifbar scheint das in Form eines Schwemmfächers abgelagerte Bodensubstrat. Mit tachymetrischer Geländeaufnahme und der Durchführung zahlreicher Bohrungen, gestützt von Laboranalysen, wird durch die Erstellung eines digitalen Modells der Betrag der Akkumulationsmasse berechnet. Mit gleichem Aufwand wird die rezente Geländeoberfläche des Erosionsgebietes aufgenommen. Im Gegensatz zum Ablagerungsgebiet muss ein Teil auf Grundlage von Indizien im digitalen Modell nachgebildet werden. Die ehemalige maximale Mächtigkeit der Böden wird aus Bodenprofilen eines benachbarten Gebietes rekonstruiert. Durch Subtraktion der Modelle des ehemaligen und des heutigen Geländezustandes wird die Veränderung des Erosions- und des Akkumulationsbereiches quantifiziert. Dem Erosionsbetrag von 9090 t steht im Untersuchungsgebiet ein Akkumulationsbetrag von 6370 t gegenüber. Sicherlich ist die rekonstruierte Oberfläche des Erosionsgebietes mit Fehlern behaftet, welche nicht näher quantifiziert werden können. Ebenso sind im Modell des Schwemmfächers nicht quantifizierbare Fehler vorhanden. Die Diskrepanz zwischen Erosions- und Akkumulationsbetrag muss so gedeutet werden, dass ein großer Teil der Masse in Form von kleinsten Partikeln das System verlassen hat. Bestätigt wird dies durch die Laboranalysen, die eine Tonverarmung im Kolluvium bestätigen. Es zeigt sich, dass auch mit größtem technischen Aufwand selbst bei vermeintlich guten Gegebenheiten

die Beträge zwischen Erosionsgebiet und Akkumulationsgebiet eine Differenz von 30 % aufweisen. Neben der Detailstudie wird auch eine Massenbilanzierung der durch die Hohlwegeintiefung hervorgerufenen Bodenerosion des gesamten Arbeitsgebietes durchgeführt. Wegen der Größe des Gebietes wird nach der Kartieranleitung von ROHR et al. (1990) vorgegangen. Dabei hat sich ergeben, dass aus dem definierten, 360 ha großen Gebiet, $34266 \pm 9937 \text{ m}^3$ oder $44545 \pm 12918 \text{ t}$ Bodensubstrat ausgetragen wurden. Dies entspricht in etwa der Kapazität von 680 Güterwagen, also einem Güterzug von ca. 10,8 km Länge¹! Dies verdeutlicht, was für einen enormen irreversiblen Eingriff in den Landschaftshaushalt die Hohlwegeintiefung bedeutet.

Bei den genannten Erosionsbeträgen ist zu beachten, dass bei dem verwendeten Verfahren, selbst mit großer Sorgfalt, der Fehler nur knapp unter 30 % zu halten ist, wenn man den Vorgaben und der Fehlerrechnung von RÜTTIMANN & PRASUHN (1990) folgt. Auch andere Autoren, wie z.B. HERWEG (1989), gehen bei der Quantifizierung von Rinnenerosion von einem Fehler von $\pm 30 \%$ aus. Derzeit sind keine anderen Methoden bekannt, welche in einem angemessenen Zeit- und Kostenrahmen unter gegebenen Umweltbedingungen ein genaueres Ergebnis liefern. Einzig eine genaue Vermessung der Rinnen, bzw. hier der Hohlwege, kann den Fehler reduzieren.

Um die Erosionsprozesse zu datieren, werden zwei Ansätze verfolgt. In einem Ansatz wird mit Lumineszenzdatierungen und Radiokarbondatierungen das Sediment, bzw. mit dem Sediment abgelagertes Material datiert. Mit diesen Datierungsmethoden sind zahlreiche Diskussionen verbunden und auch in dieser Arbeit bleibt ein methodenkritischer Aspekt nicht aus. In der vorliegenden Arbeit findet sich in den untersuchten Profilen des Schwemmfächers keine datierbare Organik. Dies kann selbstverständlich nicht als Kritik an der Methode angesehen werden, zeigt aber, dass man dem wirtschaftenden Menschen bei seinem Handeln nicht immer eine „Holzkohleproduktion“ unterstellen kann. Nicht immer findet man in Kolluvien radiokarbon - datierbares Material. Am bearbeiteten Schwemmfächer wird daher die optisch stimulierte Lumineszenzdatierung (=OSL -

¹bezogen auf einen modernen offenen Güterwagen, z.B. Eanos x052, mit einer Ladekapazität von max. 65,5 t und 15,7 m Gesamtlänge

Datierung) angewandt. Besonders LANG hat in Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Arbeitsgruppen zahlreiche Datierungen in ähnlichem Kontext an kolluvial verlagertem Bodenmaterial durchgeführt (LANG (2002, 2003), LANG & HÖHNSCHIED (1999), LANG & NOLTE (1999), LANG & WAGNER 1997, LANG et al. (1996, 2003)). Grundvoraussetzung für diese Art der Sedimentdatierung ist die ausreichende Bleichung des zu datierenden Minerals während des Transportes. Ist das zu datierende Mineral, in der Regel Quarz oder Feldspat, von anderen Partikeln in Form eines Bodenaggregates umschlossen und wird auf diese Weise hangabwärts transportiert, kann es zu einer unzureichenden Bleichung des Minerals kommen und zu hohe Alter sind die Folge. Die erhaltenen Alter von $10,5 \pm 0,8$ ka (Risø045401) und $11,3 \pm 0,9$ ka (Risø045402) müssen als zu hoch angesehen werden. Bei der Erosion der Parabraunerden blieben die sehr stabilen Bodenaggregate der *Bt*- Horizonte als abgrollte Tonbröckel (VÖLKE & RAAB 1999: 314) erhalten, wodurch das Bodenmaterial dem Lehmbröckelsand (ROHDENBURG 1971: 310) entspricht, wie ihn auch STRUNK (1990) beobachtet. Der Fund eines horizontal gelagerten Sichelmessers (vgl. Abbildung A-7) aus dem Horizont der Probe 6938-Sg2/1osl, spricht ebenfalls gegen das ermittelte OSL - Alter. Das Phänomen der unzureichenden Bleichung wurde auch von LANG et al. (2003) beobachtet und führte auch bei ihrer Bodendatierung zu einem zu hohen Alter.

Das Ende des Erosionsprozesses kann durch die angewandten Methoden nicht erfasst werden. Einzige Anhaltspunkte für die Formungsruhe sind neben der aufgewachsenen Vegetation eine Münze aus dem Jahr 1892 (vgl. Abbildung A-6) und vorindustrielle Metallfunde aus den oberen Zentimetern des Schwemmfächers.

Ein anderer Ansatz, der zur zeitlichen Einordnung der Hohlwegeintiefung verwendet wird, ist die Auswertung von historischen Aufzeichnungen und geschichtlichen Quellen, die auf eine besondere Aktivität, in diesem Fall Verkehrsaufkommen, hinweisen. Die auf diese Weise erhaltenen Resultate erreichen eine Genauigkeit von mehreren hundert Jahren bis zu einem Tag. Da Regensburg im Mittelalter eines der bedeutendsten Handelszentren Mitteleuropas war, können zahlreiche „Spuren“ verfolgt werden. Die im Untersuchungsgebiet eingetieften Hohlwege können dem Ost - Westhandel des Mittelalters

zugeordnet werden. Die gefundenen Trassen sind durch die historischen Aufzeichnungen anderer Autoren wie SCHOPPER (1990), HÖHN (1985), FREYTAG (1938, 1939) oder WALDERDORFF (1896) durch direkte und indirekte Hinweise in den Zusammenhang mit der Verbindung Regensburg - Nürnberg zu bringen. Zeitlich ist die Spanne der Nutzung vom 9. Jahrhundert bis zum ausgehenden 15. Jahrhundert einzuordnen. Unter anderem nennen KIBLE (1996) und KNOTT (1999) das Jahr 1486, in welchem die Streckenführung geändert wurde, FREYTAG (1938) gibt den Hinweis, dass bis 1504 die „Neue Nürnberger Straße“ noch nicht voll benutzbar war. Auch wenn die Entstehung der Hohlwegtrassen ins Mittelalter datiert werden kann, ist davon auszugehen, dass die Verbindung Riegling - Eilsbrunn, bzw. Kleinprüfening - Eilsbrunn weiter bestand und die vorhandenen Wege genutzt wurden.

Fazit

Der Einsatz geophysikalischer Prospektion für die Erfassung der Mächtigkeiten von Kolluvien ist in tonreichen Böden möglich. Bereits geringe Änderungen in den physikalischen Materialeigenschaften ermöglichen bei geeigneter Gerätekonfiguration unter Akzeptanz einer reduzierten vertikalen Auflösung die Erkundung bis in eine Tiefe von zwei Metern mit dem Georadar, bis in größere Tiefen mit der Refraktionsseismik.

Für die Erosionsbilanzierung von Rinnen- und Runsenerosion hat sich gezeigt, dass der Schwerpunkt auf der Erfassung des Fehlbetrages liegen muss, da auch unter höchstem technischen Aufwand die korrelierten Sedimente nicht vollständig erfasst werden können. Besondere Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die Verarmung der Tonfraktion im Sedimentspeicher.

Nicht immer greifen die physikalischen Datierungsmethoden, doch durch die Verknüpfung der geomorphologischen Prozesse mit historischen Informationen ist es dennoch möglich, Datierungen durchzuführen. Der Unsicherheitsfaktor wird dabei nicht größer als bei den physikalischen Altersdatierungen ^{14}C und OSL.

8 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag zur Quantifizierung von Bodenerosion in historischer Zeit. Zu diesem Zweck werden anthropogeomorphologische Studien durchgeführt, die neben der anthropogen induzierten Landschaftsveränderung auch den Einfluss der Landschaft auf die Entscheidungen menschlichen Handelns berücksichtigen.

In einem definierten Landschaftsausschnitt, westlich des Stadtgebietes von Regensburg, wird ein Hohlwegsystem kartiert und vermessen. In einer Detailstudie werden mit herkömmlichen feldbodenkundlichen Methoden die Daten für die Modellierung der präerosiven Geländeoberfläche erarbeitet. Durch den Vergleich mit der rezenten Geländeoberfläche, welche durch eine terrestrische Vermessung exakt erfasst wird, kann eine Massenbilanzierung mit höchst möglicher Genauigkeit erstellt werden. Es zeigt sich, dass selbst mit hohem technischen und zeitlichen Aufwand ca. 30 % der korrelierten Sedimente nicht mehr erfasst werden können.

In einem weiteren Schritt wird die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse mit der Refraktionsseismik und dem Georadar geprüft. Es stellt sich heraus, dass die vorliegenden, tonig - lehmigen Sedimente den Einsatz der genannten geophysikalischen Methoden zulassen. Allerdings bleibt die Auflösung bei den Kolluvien hinter den Erwartungen und den herkömmlichen, zeitaufwendigen bodenkundlich - sedimentologischen Feldmethoden zurück. Auch mit Datenlücken ist zu rechnen, so dass keine lückenlosen 2D - Untergrundinformationen gewonnen werden. Die Zeitersparnis des geophysikalischen Ansatzes ist jedoch enorm, so dass der Einsatz von Refraktionsseismik und / oder Georadar bei der Erfassung von Kolluvien auf größeren Arealen zu empfehlen ist.

Neben der Detailuntersuchung wird das gesamte Hohlwegsystem vermessen und di-

gital erfasst. Auch unter hohem Zeitaufwand und großer Sorgfalt summiert sich bei dem gewählten Aufnahme- und Berechnungsverfahren der statistische Fehler auf bis zu $\pm 29\%$.

Die Radiokarbondatierung der korrelierten Sedimente und Kolluvien liefert mangels datierbarem Materials nur eine unzureichende zeitliche Auflösung. Die durchgeführten Sedimentdatierungen mittels der OSL - Methode haben bei den Kolluvien aufgrund zu geringer Materialbleichung durchwegs zu hohe Alter und damit unbrauchbare Ergebnisse geliefert. Erst durch die Verknüpfung der physiogeographischen Studien mit dem geschichtlichen Hintergrund der Region kann die Hohlwegeintiefung und die damit verbundene Bodenerosion in die Zeitspanne vom 7. / 9. Jahrhundert bis zum Übergang 15. / 16. Jahrhundert gestellt werden.

Das vorliegende Hohlwegsystem kann als ein multifunktionales Straßennetz betrachtet werden, welchem in unterschiedlichen Zeitabschnitten verschiedene Bedeutung zugemessen werden kann.

9 Literatur

- AG BODEN (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Aufl., berichtigter Nachdruck. 392S., Hannover.
- AITKEN, M.J. (1998): An introduction to optical dating of quaternary sediments by the use of photon stimulated luminescence. 266S., Oxford.
- AMMER, U. & LÖFFLER, H. (1982): Ein Verfahren zur Prüfung der Umweltverträglichkeit beim forstlichen Wirtschaftswegebau. – Laufener Seminarbeiträge **82**(4): 10-53.
- AUER, J. (1998): Altwege im Landkreis Kelheim. Die Geschichte der Fernstraßen von den Anfängen bis zum 19. Jahrhundert. – Weltenburger Akademie **2**(20). 39S.
- AUER, J. (1999): Altwege zwischen Abens, Donau und Isar. – Regensburger Beiträge zur Regionalgeographie und Raumplanung **M5**, 107S.
- AUERSWALD, K. (1998): Bodenerosion durch Wasser. – RICHTER, G. (Hrsg.)(1998): Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems: 33-42, Darmstadt.
- BAIER, B., WOLF, R. (Hrsg.)(1993): Hohlwege: Entstehung, Geschichte und Ökologie der Hohlwege im westlichen Kraichgau; ein gemeinsames Projekt der Bezirksstelle für Naturschutz und Landschaftspflege Karlsruhe und des Landesnaturschutzverbandes Baden-Württemberg., 416S., Karlsruhe.
- BARSCH, H., BILLWITZ, K., BORK, H.-J. (Hrsg.)(2000): Arbeitsmethoden in Physiogeographie und Geoökologie. 612S., Gotha, Stuttgart.

- BASSON, U. (1992): Mapping of moisture content and structure of unsaturated sand layers with ground penetrating radar. Tel Aviv.
- BAUBERGER, W., CRAMER, P., TILLMANN, H. (1969): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000 Blatt Nr. 6938 Regensburg. 414S., München.
- BAUER, R. (1963): Der Wandel der Bedeutung der Verkehrsmittel im nordbayerischen Raum. – Mitt. Fränk. Geogr. Ges. **9**: 53-244.
- BayFROKLIM (Hrsg.) (1996): Klimaatlas von Bayern. 48S., München.
- BERGER, G.W., MELLES, M., BANNERJEE, D., MURRAY, A.S., RAAB, A. (2004): Luminescence chronology of non-glacial sediments in Changeable Lake, Russian High Arctic, and implications for limited Eurasian ice-sheet extent during the LGM. – Journal of Quaternary Science **19**(5): 513-523.
- BIRK, A. (1934): Die Strasse – Ihre verkehrs- und bautechnische Entwicklung im Rahmen der Menschheitsgeschichte. 455S. Karlsbad-Drahowitz.
- BLINDOW, N., RICHTER, T., PETZOLD, H. (1997): Bodenradar. – KNÖDEL, K., KRUMMEL, H., LANGE, G. (Hrsg.): Geophysik. Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Bd.3, 1063 S., Berlin.
- BOLL, J. et al. (1996): Using Ground penetrating radar to detect layers in a sandy field soil. – Geoderma **70**: 117-132.
- BOOTH, B. (2000): Using ArcGIS 3D Analyst. 212 S., Redlands.
- BREUNIG, M. (2005): Räumliche Repräsentationen. – COORS, V., ZIPF, A. (Hrsg.): 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendung: 40-55, Heidelberg.
- BRINDLEY, G.W. & G. BROWN (1980): Crystal structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification. – Mineralogical Society - Monographs **5**. 495S., London.
- BURGER, H.R. (1992): Exploration Geophysics of the shallow subsurface. 489S., New Jersey.

- BURGER, D.C. & BURGER, H.R. (1990a): RefractSolve. Los Angeles.
- BURGER, D.C. & BURGER, H.R. (1990b): RefractModel. Los Angeles.
- BURROUGH, P.A. (1989): Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. – Monographs on soil and resources survey **12**. 194S., Oxford.
- CHORLEY, R., SCHUMM, S., SUDGEN, D. (1984): Geomorphology. 605S., New York, Methuen.
- v. DAM, R.L. (2001): Causes of ground-penetrating radar reflections in sediment. 110S., Amsterdam.
- DAVIS, J.L., ANNAN, A.P. (1989): Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. – Geophysical prospecting **37**: 531-551.
- DENECKE, D. (1969): Methodische Untersuchungen zur historischen-geographischen Wegforschung im Raum zwischen Solling und Harz. – Göttinger Geographische Abhandlungen **54**. 423S.
- DENECKE, D. (2002): Altwegerelikte: Methoden und Probleme ihrer Inventarisierung und Interpretation. Ein systematischer Überblick. – DENECKE(Hrsg.): Wege als Ziel - Kolloquium zur Wegforschung in Münster, 30. November bis 1. Dezember 2000: 1-16.
- DOBLER, L., VÖLKEL, J. (1994): Veränderungen bodeneigener Tonminerale zwischen Stammablauf- und Zwischenstammbereich in einem Altholz auf Parabraunerden im Lößgebiet von Regensburg. – DTTG-Berichte zur Jahrestagung in Regensburg: 42-54.
- DOLLACKER, A. (1919): Eine nordgauische Altstraße vom Main zur Donau. 16S., Kaufbeuren.
- DOLLACKER, A. (1938): Altstraßen der mittleren Oberpfalz. – VHVO **88**: 167-186.

- DOOLITTLE, J.A. (1987): Using ground-penetrating radar to increase the quality and efficiency of soil surveys. – REYBOLD, W.V., PETERSEN, G.W. (Hrsg.): Soil Survey Techniques. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. **20** : 11-32.
- DOOLITTLE, J.A., COLLINS, M.E. (1995): Use of soil information to determine application of ground penetrating radar. – Journal of Applied Geophysics **33**: 101-108.
- EHEIM, A., VÖLKELE, J. (1994): Vergleich des Tonmineralbestandes und ihrer pedogenen Transformation in Böden unterschiedlichen Alters anhand eines keltischen Bauwerks. – DTTG-Berichte zur Jahrestagung in Regensburg: 55-65.
- ELEMENTAR Analysensysteme GmbH (Hrsg.)(2001): vario EL III CHNOS Elementaranalysator Bedienungsanleitung. Hanau.
- EMMERICH, W. (1955): Das Hauptwegenetz des 11. Jahrhunderts in den oberen Mainlanden und seine Grundlagen in karolingischer Zeit. – Jahrbuch für fränkische Landesforschung **15**: 255ff.
- FERTIG, J. (1997): Seismik - Prinzip der Methode. – KNÖDEL, K., KRUMMEL, H., LANGE, G. (Hrsg.): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Bd. 3, Geophysik: 405-445.
- FISCHER, W. (1940): Linienführung und Bau spätmittelalterlicher Handelsstraßen. – Auszug aus einem Vortrag in der Arbeitsgemeinschaft für Technikgeschichte des Vereins deutscher Ingenieure im NSBDT. am 20. Mai 1940 im Ingenieurhaus in Berlin. S. 154-155.
- FRECHEN, M. (1999): Upper Pleistocene loess stratigraphy in Southern Germany. – Quat. Geochronol. **18**: 243-269.
- FREYTAG, R. (1938): Winzer bei Regensburg. Versuch einer Ortsbeschreibung mit besonderer Berücksichtigung der Flurnamen. – VHVO **88**: 187-229.

- FREYTAG, R. (1939): Eilsbrunn: Beiträge zur Geschichte des Dorfes unter besonderer Berücksichtigung der Flurnamen. – VHVO **89**: 359-380.
- GOUDI, A. S. (Hrsg.) (2004): Encyclopedia of Geomorphology. Bd.1. New York.
- HARENBERG, B. (Hrsg.) (1996): Harenberg Kompaktlexikon, Bd.2. Dortmund.
- HASSLER, D., HASSLER, M.(1993): Entstehung und Entwicklung von Hohlwegen.
-In: BAIER, B., WOLF, R..(Hrsg.)(1993): Hohlwege: Entstehung, Geschichte und Ökologie der Hohlwege im westlichen Kraichgau; ein gemeinsames Projekt der Bezirksstelle für Naturschutz und Landschaftspflege Karlsruhe und des Landesnaturschutzverbandes Baden-Württemberg. S.67 - 82.
- HECHT, A. (2003) (Hrsg.): Festschrift - 125 Jahre Freiwillige Feuerwehr Eilsbrunn. 132S.
- HECHT, S. (2001): Anwendung refraktionsseismischer Methoden zur Erkundung des oberflächennahen Untergrundes – Stuttgarter Geographische Studien **131**. 165 S.
- HECHT, S. (2003): Differentiation of loose sediments with seismic refraction methods - potentials and limitations derived from case studies. – Z. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd. **132**: 89-102.
- HEINE, K., NILLER, H.-P. (2003): Human and climate impacts on the holocene landscape development in southern Germany. – Geographia Polonica **76/2**. S.109.122.
- HEINLE, P. (1999): Altstraßen und Verkehr im Nürnberger Territorium. – Nürnberg: Archäologie und Kulturgeschichte: 340-344.
- HERWEG, K. (1989): Bodenerosion und Bodenkonservierung in der Toskana, Italien (Testgebiet Roccatederighi, Provinz Grosseto). – Physiographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie **9**, 185S.
- HÖHN, A. (1985): Die Straßen des Nürnberger Handels. 84S. Nürnberg.

- HOFFMANN, T., SCHROTT, L. (2002): Modelling sediment thickness and rockwall retreat in an Alpine valley using 2D-seismic refraction (Reintal, Bavarian Alps). – Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. **127**: 175-196.
- HOFFMANN, T., SCHROTT, L. (2003): Determining sediment thickness of talus slopes and valley fill deposits using seismic refraction - a comparison of interpretation tools. – Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. **132**: 71-87.
- HOFMANN, H.H. (1963): Karl IV. und die politische Landbrücke von Prag nach Frankfurt am Main. – COLLEGIUM CAROLINUM (Hrsg.): Zwischen Frankfurt und Prag - Vorträge der wissenschaftlichen Tagung des Collegium Carolinum in Frankfurt/M. am 7. und 8. Juni 1962: 51 - 74.
- HOFMEISTER, URMANN, WIETHALER (Hrsg.)(1999): Die Fähre Prüfening. 36S. Regensburg.
- INMAN, J. et al. (2001): Evaluating GPR and EMI for morphological studies of loessial soils. – Soil Science **199** (9): 622-630.
- JACOBSON, C.-J. (2000): Eisenbahnknoten Regensburg. 140 Jahre Schienenverkehr in der Domstadt. 158S., Regensburg.
- JÄGER, H. (1993): Geographische und historische Methoden der Altstraßenforschung. – Schriftenreihe der Arbeitsgemeinschaft Alpenländer, NF **7**: 39-59.
- JOHNSTON, K., HOEF, J.M., KRIVORUCHKO, K., LUCAS, N. (2001): Using ArcGIS Geostatistical Analyst. 287S., Redlands.
- KADEREIT, A., LANG, A., WAGNER, G.A. (2001): Colluvial sediments near archaeological sites as key to the past landscape evolution under human impact. A geoarchaeological case study from the Kraichgau hills in southern Germany. – JEREM, E., BIRÓ, K. (Hrsg.): Proceedings of the 30th International Symposium on Archaeometry, Budapest/Hungary. BAR-Archaeolingua. Central European Series, **1**: 123-129.

- KADEREIT, A., LANG, A., MÜTH, J., HÖNSCHEID, S., WAGNER, G.A. (2002): IR-OSL-dated colluvial sediments as a key to Holocene landscape reconstruction. Case studies from SW-Germany. – *Z. Geomorph* **128**: 191-207.
- KAHMEN, H. (1997): Vermessungskunde. 19. Aufl. 732S., Berlin, New York.
- KERTZ, W. (1995): Einführung in die Geophysik I. Heidelberg, Berlin, Oxford.
- KIBLE, J. (1996): Etterzhausen, Vergangenheit und Gegenwart. 335S., Regensburg.
- KILLERMANN, W. (1972): Landschaftsökologische und vegetationskundliche Untersuchungen in der Frankenalb und im Falkensteiner Vorwald. – *Dissertationes Botanicae* **19**. 262S.
- KLEBEL, E. (1952 ca.): Der Handel und seine Organisationsformen in Regensburg. – Jahresbericht der Industrie- und Handelskammer Regensburg.
- KLEBEL, E. (1958): Regensburg. – Vorträge und Forschungen; Sonderdruck aus Band **IV**: 87-104.
- KLUG, H. & LANG, R. (1980): Physisch-Geographische Forschungsprojekte im Regensburger Raum. Aus dem Arbeitsprogramm des Lehrstuhls für Physische Geographie an der Universität Regensburg. – *Acta Albertina Ratisbonensia* **39**: 81-115
- KNOTT, M (1999): Chronik von Etterzhausen. – Freiwillige Feuerwehr Etterzhausen (Hrsg.) Festschrift zum 125jährigen Gründungsfest der Freiwilligen Feuerwehr Etterzhausen: 100-123.
- KOCH, F. (1904): Regensburg als Großhandelsstadt im Mittelalter. 315 S., Regensburg.
- KRAUS, A. (1989): Regensburg, ein Beispiel deutscher Stadtentwicklung. – ACKERMANN, K., & GIRISCH, G. (Hrsg.): Gustl Lang. Leben für die Heimat: 109-133.
- KRETZSCHMAR, R. (1996): Kulturtechnisch-Bodenkundliches Praktikum. Ausgewählte Labor- und Feldmethoden **Bd.1**. 9. Aufl.

- KRÜGER, H. (1974): Das älteste deutsche Routenhandbuch. 272S., Graz.
- LANG, A. (2002): Phases of soil erosion-derived colluviation in the loess hills of South Germany. – *Catena* **722**: 1-13.
- LANG, A. (2003): Phases of soil erosion-derived colluviation in the loess hills of South Germany. – *Catena* **51**: 209-221.
- LANG, A., HÖNSCHEID, S. (1999): Age and source of colluvial sediments at Vaihingen-Enz, Germany. – *Catena* **38**: 89-107.
- LANG, A., LINDAUER, S., KUHN, R., WAGNER, G.A. (1996): Procedures used for optically and infrared stimulated luminescence dating of sediments in Heidelberg. – *Ancient TL* **14**: 7-11.
- LANG, A., NILLER, H.-P., RIND, M. (2003): Land Degradation in Bronze Age Germany: Archaeological, Pedological, and Chronometrical Evidence from a Hilltop Settlement on the Frauenberg, Niederbayern. – *Geoarchaeology* **18/7**: 757-778.
- LANG, A., NOLTE, S. (1999): The chronology of Holocene alluvial sediments from the Wetterau, Germany, provided by optical and ^{14}C dating. – *The Holocene* **9,2**: 207-214.
- LANG, A., WAGNER, G.A. (1997): Infrared stimulated luminescence dating of holocene colluvial sediments using the 410 nm emission. – *Quaternary Science Reviews* **16**: 393-396.
- LEOPOLD, M. (2003): Multivariate Analyse von Geoarchiven zur Rekonstruktion eisenzeitlicher Landnutzung im Umfeld der spätlatènezeitlichen Viereckschanze von Poign, Lkr. Regensburg –*BOLAQ* **2**: 260S.
- LEOPOLD, M. & VÖLKEL, J. (2004): Neolithic Flint Mines in Arnhofen, Southern Germany: A Ground-penetrating Radar Survey. – *Archaeol. Prospect.* **11**: 57-64.
- LESER, H. (1977): Feld- und Labormethoden der Geomorphologie. 446S. Berlin.

- LESER, H. et al. (Hrsg.)(1997): Wörterbuch Allgemeine Geographie. München, Braunschweig.
- LOUIS, H. (Hrsg.)(1979): Allgemeine Geomorphologie. 4. Aufl., 814S., München.
- LUDWIG, R. (2000): Die flächenverteilte Modellierung von Wasserhaushalt und Abflußbildung im Einzugsgebiet der Ammer. –Münchener Geographische Abhandlungen B **32**. 173S.
- McCOY, J. & JOHNSTEN, K. (2002): Using ArcGIS Spatial Analyst. 232S., Redlands.
- MAHR, A. (1998): Lockerbraunerden und periglaziale Hangsedimente im Bayerischen Wald. Untersuchungen zu Paläoumwelt und Geomorphodynamik im Spätglazial und ihrem Einfluß auf die Pedogenese. – Regensburger Geographische Schriften **30**, 326S.
- MANSKE, D.J. (1987): Zur Frage der Altstraßen in der Oberpfalz. Beobachtungen an einem Nord-Süd-System - ein Zwischenbericht. – Bergbau- und Industriemuseum Ostbayern. **12/1**: 71-81.
- MANSKE, D.J. (2000): Das mittelalterliche und frühneuzeitliche Altwegenetz der südwestlichen Oberpfalz (Kreis Neumarkt). – Bayerischer Nordgautag **33**: 45-64.
- MANSKE, D.J. (2003): Altstraßenforschung in Ostbayern: Auf den Spuren alter Fern- und Nahverbindungen, mittelalterlicher Wegweiser und Gefahrenhinweise. – Beiträge zur Flur- und Kleindenkmalforschung in der Oberpfalz **26**: 29-48.
- MATYÁŠ, K. (1964): Ökonomische Planung von Waldwegen. 108S., München, Basel, Wien.
- MENKE, M. (1988): Die bairisch besiedelten Landschaften im 6. und 7. Jahrhundert nach archäologischen Quellen. – DANNHEIMER, H. & DOPSCH, H. (Hrsg.) : Die Bajuwaren. Von Severin bis Tassilo 488 - 788: 70-78.

- MILITZER, H., WEBER, F. (Hrsg.) (1985): Angewandte Geophysik. **2**. Wien, New York, Berlin.
- MILITZER, H., WEBER, F. (Hrsg.)(1987): Angewandte Geophysik. **3**. Wien, New York, Berlin.
- MOORE, D. & REYNOLDS, J. (1989): X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. 378S., Oxford.
- MOTYKA, G. (1962): Wallfahrtskirche Mariaort. 14S., Regensburg.
- MÜLLER, M. (1961): Die Entwicklung von Malm und Kreide im Raum Parsberg - Kallmünz (Oberpf.). – Erlanger Geologische Abhandlungen **40**.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G.(1990): Klimadaten der Bundesrepublik Deutschland Zeitraum 1951 - 1980. 289S., Offenbach a. M.
- MUNRO, J. (2000): Wool and Wool-Based Textiles in the West European Economy, c.800 - 1500: Innovations and Traditions in Textile Products, Technology, and Industrial Organisation. 62S. Toronto.
- MURREY, A.S., OLLEY, J.M. (2002): Precision and accuracy in the optically stimulated luminescence dating of sedimentary quartz: A status review. – Geochronometria **21**: 1-16.
- MURREY, A.S., WINTLE, A.G. (2000): Luminescence dating of quartz using improved single-aliquot regenerative-dose protocol. – Radiation Measurements **32**: 53-73.
- NILLER, H.-P. (1998): Prähistorische Landschaften im Lößgebiet bei Regensburg. Kolluvien, Auenlehme und Böden als Archive der Paläoumwelt. – Regensburger Geographische Schriften **31**, 429S.

- O'CALLAGHAN, J.F., MARK, D.M. (1984): The extraction of drainage networks from digital elevation data. – *Computer Vision, Graphics and Image Processing* **28**: 328-344.
- OLHOEFT, G.R. (2002): GRORADARTM Version 2002.05. Processing, Modeling and Display of Dispersive Ground Penetrating Radar Data. Golden.
- OSCHMANN, F. (1958): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000 Blatt Nr. 7038 Bad Abbach. München.
- PETSCHIK, R. (2001): MacDiff - Freeware Scientific Graphical Analysis of X-Ray Diffraction Profiles. Version 4.2.5 for PowerPC.
- PFALLER, J. (1936): Die Steinerne Brücke über die Donau bei Regensburg 1135 - 1935. – *Zentralblatt der Bauverwaltung* **56/16**: 341-348.
- PIZZIOLI, M. (2000): Wallfahrtskirche Mariaort. – *Maria heute* **390**: 18.
- RAUERS, F. (1906): Zur Geschichte der alten Handelsstraßen in Deutschland - Versuch einer quellenmäßigen Übersichtskarte. – *Petermanns Geogr. Mitteilungen* **1906/3**: 7-59.
- RESCH, G. (1821): Die Steinerne Brücke in Regensburg. 48S., Regensburg.
- RESNIK, B., & BILL, R. (2000): Vermessungskunde für den Planungs-, Bau- und Umweltbereich. 266S., Heidelberg.
- RIND, M. (1997): Archäologische Kulturen in Niederbayern. – RIND, M. (Hrsg.): Von Keltenkriegern und Kirchenmäusen. - *Archäologie im Landkreis Kelheim* **2** (1994 - 1996): 22-25.
- RIPPEL, J.K. (1959): Methoden und Ergebnisse geographischer Wegforschung, dargestellt am Beispiel aus dem Gebiet zwischen Harz und Weser. – *Berichte zur deutschen Landeskunde* **22**: 57-74.

- ROHDENBURG, H. (1971): Einführung in die klimagenetische Geomorphologie. 2. Aufl. 350S. Gießen.
- ROHR, W., MOSIMANN, T., BONO (1990): Kartieranleitung zur Aufnahme von Bodenerosionsformen und -schäden auf Ackerflächen. – Materialien zur Physiogeographie **14**: 9-39.
- RUBNER, K., REINHOLD, F. (1953): Das natürliche Waldbild Europas als Grundlage für einen europäischen Waldbau. 288S., Hamburg.
- RÜTTIMANN, M., PRASUHN, V. (1990): Möglichkeiten der Fehlerabschätzung und Optimierung der Erosionsschadenkartierung. – Materialien zur Physiogeographie **14**: 41-49.
- SALGER, M. (1965): Über den Tonmineralbestand der Regensburger Oberkreide. – Geologica Bavarica **55**: 231-238.
- SANDMEIER, K.-J. (1997): Refraktionsseismik: Standard-Inversionsverfahren. – KNÖDEL, K., KRUMMEL, H., LANGE, G. (Hrsg.): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. **3**: Geophysik: 533-545.
- SANDMEIER, K.-J. (2003): REFLEX - Version 3. Program for processing and interpretation of reflection and transmission data. Karlsruhe.
- SANDMEIER, K.-J. & LIEBHARDT, G. (1996): REFRA - Version 2. Program for processing and interpretation of refraction data. 221S., Karlsruhe.
- SANDMEIER, K.-J. & LIEBHARDT, G. (1997): Refraktionsseismik: Iterative Interpretationsmethoden. – KNÖDEL, K., KRUMMEL, H., LANGE, G. (Hrsg.): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. **3**: Geophysik: 546-552.
- SCHLICHTING, E. & BLUME, H.-P. (1966): Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler. 1.Aufl., 209S., Hamburg.

- SCHLICHTUNG, E., BLUME, H.-P., STAHR, K. (1995): Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler. 2. Aufl., 294S., Berlin, Wien.
- SCHMID, P. (1977): Regensburg - Stadt der Könige und Herzöge im Mittelalter – Regensburger Historische Forschungen **6**. 534S.
- SCHMIDGALL, J. (2004): Bodenkundlich-sedimentologische Untersuchungen zum anthropogen induzierten Landschaftswandel von Karstgebieten am Beispiel des Schlossbergs von Kallmünz (Südöstliche Fränkische Alb). 389S. Regensburg.
- SCHOPPER, F. (1990): Verkehrsgeographische Aspekte der Reihengräber von Kleinprüfening: Gemeinde Sinzing, Landkreis Regensburg, Oberpfalz. – Das Archäologische Jahr in Bayern 1989 (**1990**): 152-154.
- SCHOTTMÜLLER, H. (1961): Der Löß als gestaltender Faktor in der Kulturlandschaft des Kraichgaus. – Forschungen zur deutschen Landeskunde **130**. 96S., Bad Godesberg.
- SCHÖNFELD, R. (1973): Regensburg im Fernhandel des Mittelalters. – VHVO **113**: 7-48.
- SCHROTT, L. et al. (2003): Spatial distribution of sediment storage types and quantification of valley fill deposits in an alpine basin, Reintal, Bavarian Alps, Germany. – Geomorphology **55** (1-4): 1-19.
- SCHUH, R. (1989): Die Besiedlung der Oberpfalz im Spiegel der Ortsnamen. – ACKERMANN, K. & GIRISCH, G. (Hrsg.): Gustl Lang - Leben für die Heimat: 158-184.
- SCHWARZ, E. (1952): Die namenkundlichen Grundlagen der Siedlungsgeschichte des Landkreises Regensburg. – VHVO **92**: 25-63.
- SCHWARZ, K. (1975): Der frühmittelalterliche Landausbau in Nordost-Bayern, archäologisch gesehen. – Ausgrabungen in Deutschland, gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft 1950 - 1975 (**2**): 338-409.

- SEIBERT, P. (1968): Übersichtskarte der natürlichen Vegetationsgebiete von Bayern 1:500000 mit Erläuterungen, 84S., Bad Godeburg.
- SEIDL, A. (1925): Regensburg als Handelsstadt. – Die Ostbairischen Grenzmarken **14/8**: 200-311.
- SINGHVI, A.K., BLUSZCZ, A., BATEMAN, M.D., SOMESHWAR RAO, M. (2001): Luminescence dating of loess-palaeosoil sequences and coversands: methodological aspects and palaeoclimatic implications. – Earth-Science Reviews **54**: 193-211.
- SMITH, D.G., JOL, H.M. (1995): Ground penetrating radar: antenna frequencies and maximum probable depths of penetration in Quaternary sediments. – Journal of Applied Geophysics **33**: 92-100.
- SPINDLER, M.(Hrsg.)(1967): Handbuch der bayerischen Geschichte. **1**. München.
- STARK, F. (1978): Zur Geschichte der Durchgangsstraßen im Oberpfälzer Kernraum. – Oberpfälzer Heimat **22**: 7-25.
- STREIM, W. (1961): Malm und Oberkreide auf Blatt Laaber. –Erlanger Geologische Abhandlungen **39**. 26S.
- STRUNK, H. (1990): Das Quartärprofil von Hagelstadt im Bayerischen Tertiärhügelland. – Eiszeitalter und Gegenwart **40**. S. 85-96.
- STUIVER, M. et al. (1998): INTCAL 98 Radiocarbon Age Calibration 24.000-0 cal BP. – Radiocarbon **40** (1998): 1041 - 1083.
- TANNER, G.B. & JACKSON, M.L. (1947): Nomographs of sedimentation times for soil particles under gravity or centrifugal acceleration. – Soil Sci. Proceed. **12**: 60-65.
- TEIXEIRA, F.L., WENG, C.C., STRAKA, M., ORISTAGLIO, M.L., WANG, T. (1998): Finite-Difference Time-Domain Simulation of Ground Penetrating Radar

- on Disperse, Inhomogeneous, and Conductive Soils. – IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing **36**(6): 1928-1937.
- TELFORD, W.M., GELDART, L.P., SHERIFF, R.E. & KEYS, D.A. (Hrsg.)(1976): Applied Geophysics. 860S., Cambridge.
- TRIBUTH, H. & LAGALY, G. (Hrsg.) (1991): Identifizierung und Charakterisierung von Tonmineralen. 162S., Giessen-Wiesack.
- TRONICKE, J. (2001): Improving and evaluating GPR techniques for subsurface characterisation: case studies and advanced analysis strategies. 79S., Tübingen.
- VÖLKELE, J. (1995): Periglaziale Deckschichten und Böden im Bayerischen Wald und seinen Randgebieten als geogene Grundlagen landschaftsökologischer Forschung im Bereich naturnaher Waldstandorte. – Z. Geomorph. N.F. Suppl. **96**. 301S.
- VÖLKELE, J., EIBERWEISER, M., MAHR, A., NILLER, H.-P. (1992): Bodenkundlich-sedimentologische Labormethoden im Rahmen der Arbeitsgruppe „Landschaftsökologische Forschung im Bayerischen Wald und seinen Randgebieten“ . –Institut für Geographie der Universität Regensburg, Teil I und II. Regensburg.
- VÖLKELE, J. & RAAB, T. (1999): Zur Differenzierung periglazialer, glazigener und kolluvialer Sedimente im Hangrelief von Mittel- und Hochgebirgen. – Zbl. Geol. Paläont. Teil I **5-6**: 305-318.
- WALDERDORFF, H. (1896): Regensburg in seiner Vergangenheit und Gegenwart. 696S., Regensburg.
- WEIGEL (1959): Ostfranken im frühen Mittelalter. – Blätter für deutsche Landesgeschichte **95**: 127-211.
- WEIGER, H. (1982): Naturschutz und Walderschließung. – Laufener Seminarbeiträge **82/4**: 6-9.

- WITTMANN, F. (1856): Schenkungsbuch des Klosters St. Emmeram. Schenkungsbuch des Stiftes Obermünster. – Quellen zur bayerischen und deutschen Geschichte **1**: 147-224.
- WITTMANN, O. (Hrsg.) (1975): Bodenkarte von Bayern 1:25000 – Erläuterungen zum Blatt Nr. 6938 Regensburg. 110S., München.
- ZEILER, M. (1999): Modeling our World. The ESRI Guide to Geodatabase Design. 199S., Redlands.
- ZIEKUR, R. (2000): Georadar in der Bodenkunde. – Geologisches Jahrbuch **E52**: 9-34.

10 Dokumentation / Anhang

Geostatistik

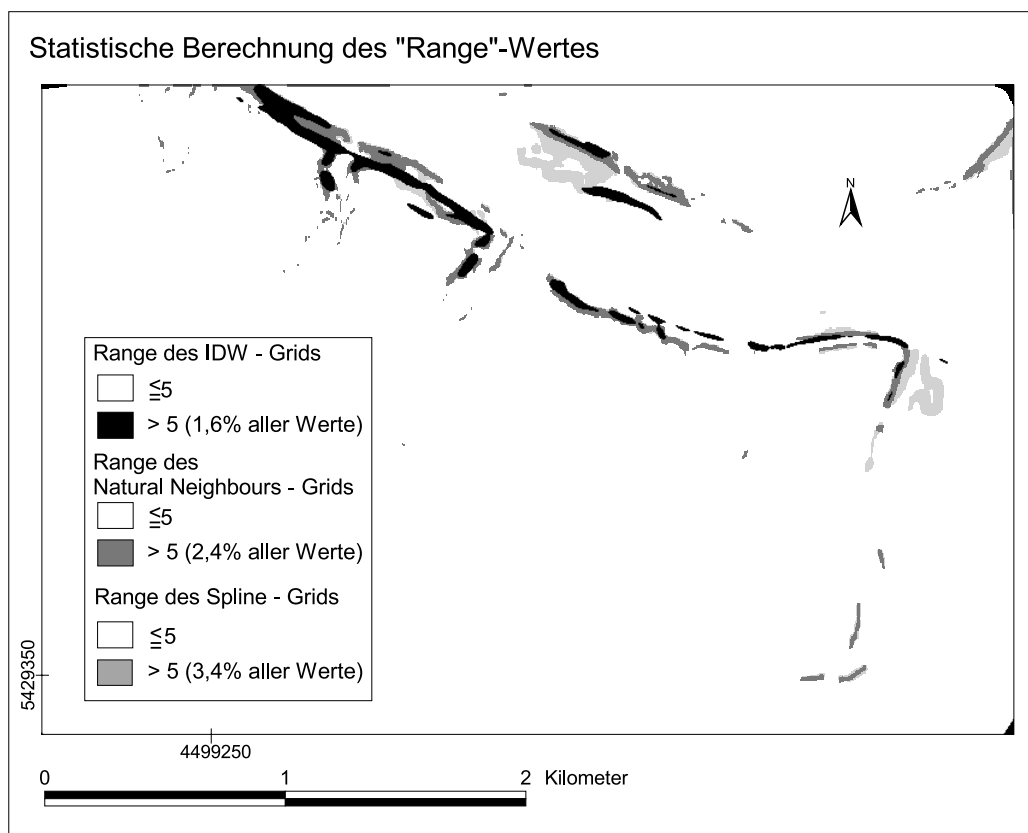


Abbildung A-1: Werte der „Range“- Statistik der IDW- und der Spline-Oberflächen

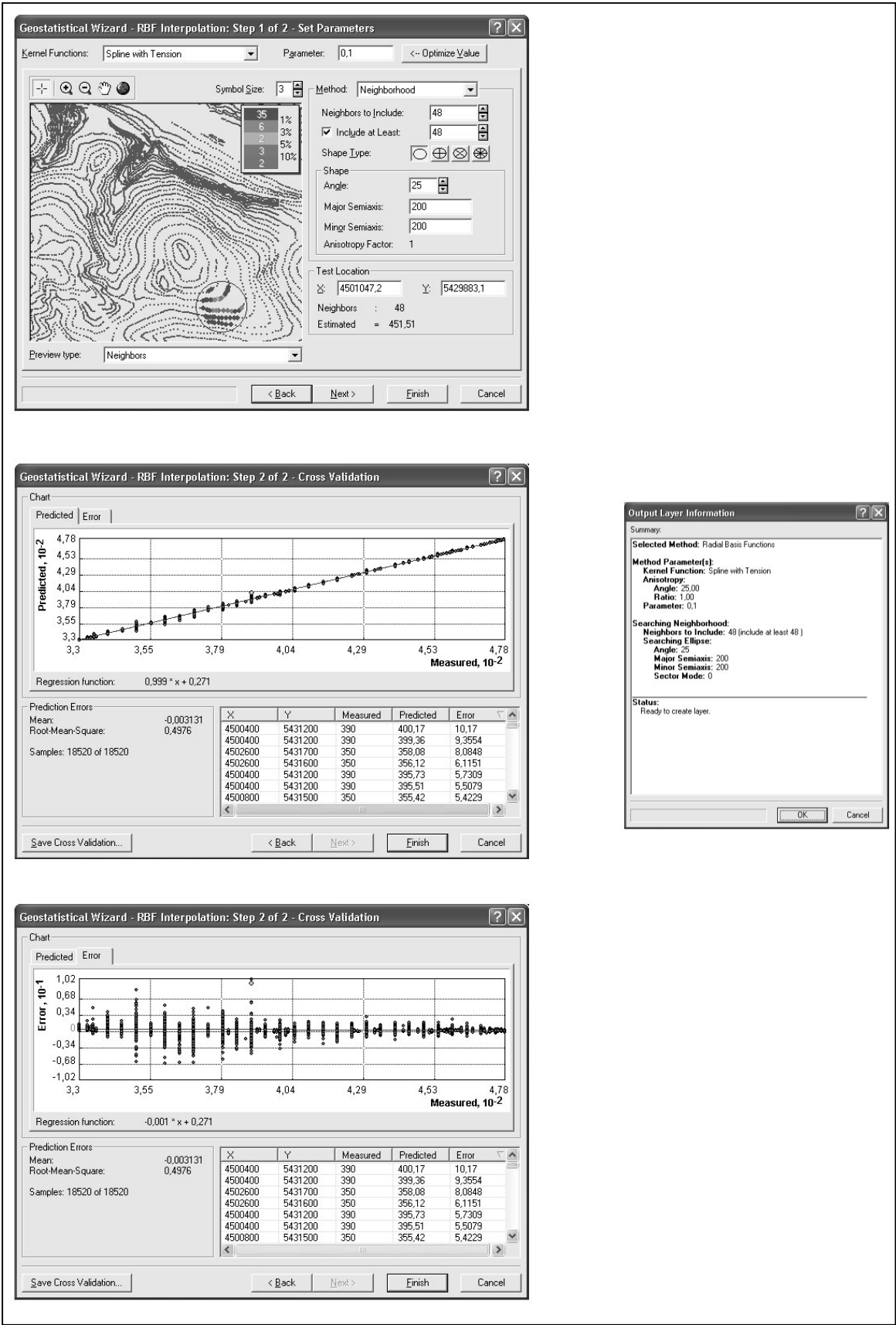


Abbildung A-2: Statistische Auswertung für die Spline Interpolation im ArcGIS Geostatistical Analyst

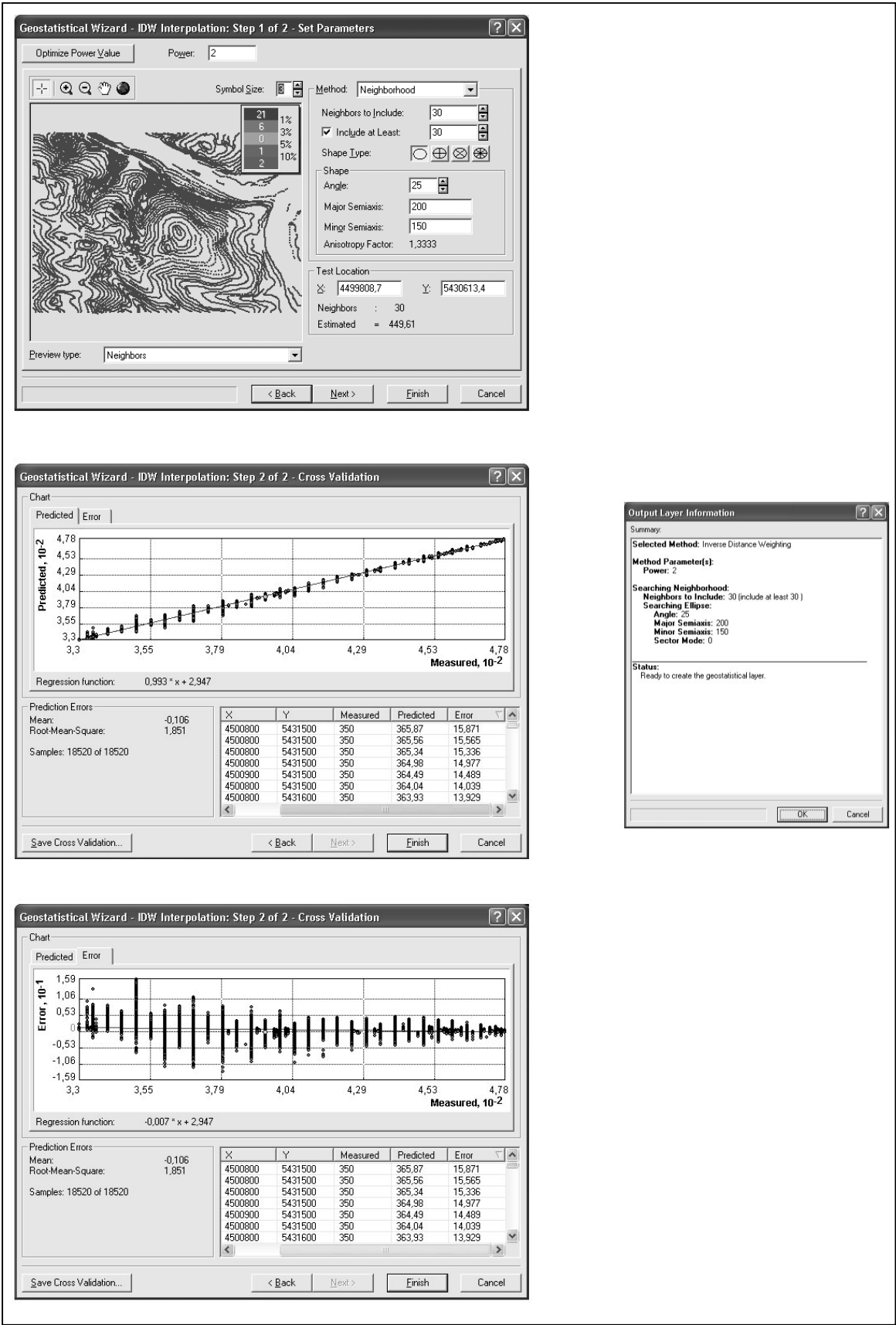


Abbildung A-3: Statistische Auswertung für die Inverse Distance Weighted Interpolation
im ArcGIS Geostatistical Analyst

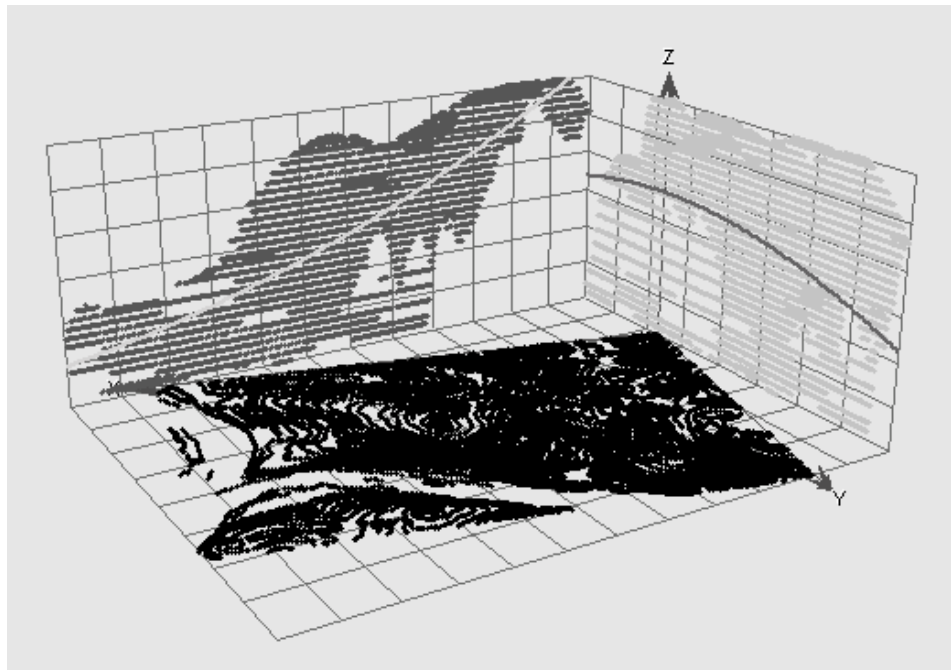


Abbildung A-4: Trendanalyse der Ausgangswerte für die Interpolation

Profilbeschreibungen und Labordaten

6938 PK - 1

Prückhauersondierung - Vergleichscatena; organ. Aufl. entfernt: Tiefe: 80cm

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-20	Al	hellgelbl. braun bis graubraun; skelettfrei; carbonatfrei; Us
20-55	Bt	rötl. braun; vereinzelt Skelett; FeMn-Konkretionen; carbonatfrei; Tu3
55-	II Bt	rotbraun; vermehrt Skelett; Tu2

6938 PK - 2

Prückhauersondierung - Vergleichscatena; organ. Aufl. entfernt: Tiefe: 80cm

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-15	Al	hellgelbl. braun; skelettfrei; carbonatfrei; Us
15-40	Bt	rötl. braun; wenig Skelett, carbonatfrei; Lt2
40-70	II Bt	rotbraun; stärker skeletthaltig; carbonatfrei; Lt3
70-	ICv	weiß; carbonathaltig

6938 PK - 3

Prückhauersondierung - Vergleichscatena; organ. Aufl. entfernt: Tiefe: 80cm

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-30	Al	hellgelbl. braun; skelettfrei; Uls
30-80	Bt + Bv	braun bis rötl. braun; stark skeletthaltig; kryoturbat durchmischt; Tu3

6938 PK - 4

Prückhauersondierung - Vergleichscatena; organ. Aufl. entfernt: Tiefe: 65cm

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-15	Ael	hellgelbl. braun bis graubraun; schwach podsoliert; skelettfrei; carbonatfrei; Us
15-45	Bt	rötl. braun; FeMn-Konkretionen; wenig Skelett; carbonatfrei; Tu3
45-	II Bt	rotbraun; skeletthaltig; carbonatfrei; Tu2

6938 PK - 5

Prückhauersondierung - Vergleichscatena; organ. Aufl. entfernt: Tiefe: 85cm

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-35	Al	hellgelbl. braun; skelettfrei; carbonatfrei; Us
35-75	Bt	rötl. braun; wenig Skelett; FeMn-Konkretionen; carbonatfrei; Tu3
75-	II Bt	rotbraun; skeletthaltig; carbonatfrei; Tu2

6938 PK - 6

Prückhauersondierung - Vergleichscatena; organ. Aufl. entfernt: Tiefe: 80cm

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-30	Al	hellgelbl. braun; skelettfrei; carbonatfrei; Ut3
30-70	Bt	rötl. braun; wenig Skelett; FeMn-Konkretionen; carbonatfrei; Lu
70-	II Bt	rotbraun; skeletthaltig; carbonatfrei; Tu3

6938 PK - 7

Prückhauersondierung - Vergleichscatena; organ. Aufl. entfernt: Tiefe: 75cm

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-20	Al	hellgelbl. braun; skelettfrei; carbonatfrei; Us
20-30	Btv	braun; wenig Skelett; carbonatfrei; Uls
30-55	Bt	rötl. braun, wenig Skelett; carbonatfrei; Lu
55-	II Bt	rotbraun; stärker skeletthaltig; carbonatfrei; Tu3

6938 PK - 8

Prückhauersondierung - Vergleichscatena; organ. Aufl. entfernt: Tiefe: 80cm

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-20	Al	hellgelbl. braun; skelettfrei; carbonatfrei; Us
20-30	Btv	braun; wenig Skelett; carbonatfrei; Uls
30-50	Bt	rötl. braun, wenig Skelett; carbonatfrei; Lu
50-	II Bt	rotbraun; stärker skeletthaltig; carbonatfrei; Tu3

6938 PK - 9

Prückhauersondierung - Vergleichscatena; organ. Aufl. entfernt: Tiefe: 90cm

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-30	Al	hellgelbl. braun; skelettfrei; carbonatfrei; Uls
30-55	Bt	rötl. braun; wenig Skelett; FeMn-Konkretionen; carbonatfrei; Tu3
55-	II Bt	rotbraun; stark skeletthaltig; carbonatfrei; Tu2

6938 PK - 10

Prückhauersondierung - Vergleichscatena; organ. Aufl. entfernt: Tiefe: 80cm

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-30	Al	hellgelbl. braun; skelettfrei; carbonatfrei; Ut3
30-50	Btv	braun bis rötl. braun; wenig Skelett; carbonatfrei; Lu
50-	II Bt	rotbraun; stärker skeletthaltig; carbonatfrei; Lt3

6938 PK - 11

Prückhauersondierung - Vergleichscatena; organ. Aufl. entfernt: Tiefe: 80cm

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-20	Al	hellgelbl. braun; skelettfrei; carbonatfrei; Ut3
20-50	Bt	rötl. braun; wenig Skelett; FeMn-Konkretionen; carbonatfrei; Tu3
50-	II Bt	rotbraun; stärker skeletthaltig; carbonatfrei; Lt3

6938 RK 1

Ortsangabe: auf Schwemmfächer

Datum: 2003

Lage: R: 4500053; H: 5430166

Höhe über NN: 440,6 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: E

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 2,9°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-5	Ah (M)	schwach humos, braun, carbonatfrei
5-129	M	hellgelbl. braun; sehr schwach humos; Lu mit Gruskomponenten; Skelett unregelmäßig im Horizont verteilt; wenige FeMn-Konkretionen (diffus); ab etwa 100 cm schwacher Staunäse-einfluss mit geringen Nassbleichungsmerkmalen, carbonatfrei
129-176	fBt	hellbraun; viele FeMn-Konkretionen (diffus); wenig Skelett bis skelettfrei; deutlich toniger gegenüber M-Horizont; carbonatfrei
176-240	fBt - ICv	hellbraun; stark skeletthaltig; carbonatfrei
240-364	ICv	sehr stark skeletthaltig; carbonathaltig

6938 RK 2

Ortsangabe: auf Schwemmfächer

Datum: 2003

Lage: R: 4500017; H: 5430162

Höhe über NN: 441,7 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: E

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 3,8°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-9	Ah (M)	schwach humos, braun; carbonatfrei
9-31	M1	hellgelbl. braun; sehr schwach humos; Tu4, skelettfrei; schwach durchwurzelt; carbonatfrei
31-68	M2	gelbl. braun; sehr schwach humos; Lu, wenig Skelett; FeMn-Konkretionen (diffus); carbonatfrei
68-191	M3	gelbl. braun; sehr schwach humos; Ut4, Gruskomponenten von oben nach unten abnehmend, unten Skelettfrei; FeMn-Konkretionen (diffus); ab ca. 100 cm schwacher Staunäseeinfluss mit geringen Nassbleichungsmerkmalen, carbonatfrei
191-220	fBt	gelbl. braun; Lt3, 1 kantiger Stein (sofern in der Sonde noch als solcher zu erkennen) + Gruskomponenten und viele FeMn-Konkretionen, carbonatfrei
220-240	fBt - ICv	gelbl. braun; Tu3, stark skeletthaltig; carbonathaltig
220-	ICv	gelbl. bis hellgelbl. braun; stark skeletthaltig; sandig; carbonathaltig

6938 RK 3

Ortsangabe: auf Schwemmfächer

Datum: 2003

Lage: R: 4499963; H: 5430125

Höhe über NN: 452,0 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: E

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 5,6°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-5	Ah (M)	humos; braun; carbonatfrei
5-130	M	hellgelbl. braun bis gelbl. braun; schwach humos; Lu, Skelett unregelmäßig über den Horizont verteilt; bei ca. 40-70 cm und 90-120 cm verstärkt Gruskomponenten → deutet auf unterschiedliche Ablagerungsphasen hin, Grenzen jedoch sehr unscharf; FeMn-Konkretionen (diffus); carbonatfrei
130-140	fBt	braun; Lt3, skeletthaltig; carbonatfrei
140-150	fBt-ICv	gelbl. braun; Lt2, stark skeletthaltig; carbonatfrei
150-	ICv	gelbl. braun; Lu/Lt2/Tu3, kaum bindig, stark skeletthaltig; bis 233 cm carbonatfrei, unterhalb schwach carbonathaltig

6938 RK 4

Ortsangabe: auf Schwemmfächer

Datum: 2003

Lage: R: 4499970; H: 5430137

Höhe über NN: 450,0 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: E

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 8,9°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-5	Ah (M)	humos; dunkelbraun; carbonatfrei
5-125	M1	hellbraun; Lu, skeletthaltig, nach unten zunehmend, an Untergrenze stark skeletthaltig, mit Steinen; FeMn-Konkretionen von oben nach unten an Größe zunehmend; carbonatfrei
125-170	M2	gelbl. braun; Ut4, von schwach (oben) bis stark (unten) skeletthaltig; locker gelagert; carbonatfrei
170-190	fBt	hellbraun bis braun; Tu3, wenig Skelett; carbonatfrei
190-200	fBt-ICv	orange; tonige Matrix (Lt3) mit viel Skelett; carbonatfrei
200-	ICv	hellgelbl. braun; Lt3 mit viel Skelett, sandiger als oberhalb; carbonathaltig

6938 RK 5

Ortsangabe: auf Schwemmfächer

Datum: 2003

Lage: R: 4499989; H: 5430140

Höhe über NN: 448,0 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: E

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 7,0°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-5	Ah (M)	humos; dunkelbraun; carbonatfrei
5-40	M1	schwach humos, braun bis gelbl. braun; Lu, stellenweise mehr Ton, schwach skeletthaltig; carbonatfrei
40-115	M2	hellbraun; Lu, zu den Grenzen nach oben und unten sehr stark skeletthaltig (kantige Steine); FeMn-Konkretionen; carbonatfrei
115-205	M3	braun bis gelbl. braun; Lu, wenig Skelett unregelmäßig über den Horizont verteilt; carbonatfrei
205-220	fBt	braun; Tu3, wenig Skelett; Grenze nach unten fließend; carbonatfrei
220-	ICv	braun, Lt3, nach unten zunehmend skeletthaltig, nach unten zunehmend größere Komponenten; carbonatfrei

6938 RK 6

Ortsangabe: auf Schwemmfächer

Datum: 2003

Lage: R: 4499995; H: 5430128

Höhe über NN: 448,3 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: E

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 7,9°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-5	Ah (M)	stark humos; dunkelbraun; carbonatfrei
5-80	M	braun bis hellgelb. braun; schwach humos; Lu, Skelett unregelmäßig im Horizont verteilt, wenig FeMn-Konkretionen; carbonatfrei
80-110	fBt	hellbraun bis braun; Lt3, stark skeletthaltig, Zunahme von oben nach unten; unscharfe Grenze nach unten; carbonatfrei
110-130	fBt-ICv	hellbraun bis braun; Tu2, schwach skeletthaltig, Skelett unregelmäßig verteilt; carbonatfrei
130-	ICv	gelbl. braun bis hellgelbl. braun; Tu2, nach unten zunehmend sandiger (Lts) und zunehmend Skelett; ab 170 cm carbonathaltig

6938 RK 7

Ortsangabe: auf Schwemmfächer

Datum: 2003

Lage: R: 4499986; H: 5430151

Höhe über NN: 447,3 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: E

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 6,4°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-5	Ah (M)	stark humos; dunkelbraun; carbonatfrei
5-200	M	braun bis gelbl. braun; Körnung: unstrukturiert, wechselnd, ab etwa 50 cm nach unten hin stark zunehmender Schluffgehalt auf Kosten des Tongehaltes, bei ca. 30-45 cm kantige Steine → Hinweis auf Wechsel der Ablagerungsphase (evtl. M2)), jedoch sehr unscharfe Grenze; bei 65-80 cm und 100-120 cm Anreicherung von Skelett, jedoch fließender Übergang; FeMn-Konkretionen diffus über den gesamten Horizont verteilt; carbonatfrei
200-230	fBt-ICv	hellbraun; Tu3, viel Skelett, nach unten zunehmend; unscharfe Grenze nach unten; carbonatfrei
230-	ICv	hellbraun; sehr stark skeletthaltig; carbonatfrei

6938 RK 8

Ortsangabe: auf Schwemmfächer

Datum: 2003

Lage: R: 4499981; H: 5430160

Höhe über NN: 447,2 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: E

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 3,8°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-10	Ah (M)	stark humos; dunkelbraun; carbonatfrei
10-77	M	braun bis gelbl. braun; Tu4, nach unten zunehmend sandiger (Lu), ab ca. 35 cm stark grusig → Hinweis auf Wechsel der Ablagerungsphase (M2); FeMn-Konkretionen zwischen 25-77 cm diffus verteilt; carbonatfrei
77-113	fBt	gelbl. braun; Lt3-Tu3, oben sehr viel Skelett, nach unten abnehmend; scharfe Grenze nach unten; wenige FeMn-Konkretionen (diffus); carbonatfrei
113-	ICv	hellbraun bis hellgelbl. braun; stark verwittertes Anstehendes mit größeren eingeschlossenen Klasten; carbonatfrei

6938 RK 9

Ortsangabe: auf Schwemmfächer

Datum: 2003

Lage: R: 4500025; H: 5430149

Höhe über NN: 443,2 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: E

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 7,5°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-10	Ah (M)	stark humos; dunkelbraun; carbonatfrei
10-120	M	schwach humos; braun bis hellbraun; Tu4, nach unten hin abnehmende Tongehalte (Lu), sehr wenig Skelett; FeMn-Konkretionen (diffus); carbonatfrei
120-160	fBt	braun bis hellbraun; Tu3, wechselnde Skelettanteile; wenige FeMn-Konkretionen (diffus); carbonatfrei
160-170	fBt-ICv	braun; Tu3, deutlich schluffiger als oberhalb; carbonatfrei
170-	ICv	hellgelbl. braun bis orange; stark sandig, stark skeletthaltig, nach unten abnehmend verwittert; ab 200 cm carbonathaltig

6938 RK 10

Ortsangabe: auf Schwemmfächer

Datum: 2003

Lage: R: 4500008; H: 5430173

Höhe über NN: 444,2 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: E

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 7,0°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-8	Ah (M)	stark humos; dunkelbraun; carbonatfrei
8-120	M	hellbraun bis hellgelbl. braun, nach unten hin braun; schwach humos; Lu mit Bereichen wechselnder Körnung, Skelett unregelmäßig über den Horizont verteilt; FeMn-Konkretionen über den Horizont verteilt mit Anreicherung zwischen 35-75 cm; carbonatfrei
120-173	fBt	hellbraun; Tu3, stark skeletthaltig; FeMn-Konkretionen (diffus); carbonatfrei
173-	lCv	gelbl. braun; nach unten zunehmend sandig (Lu → Lts); carbonathaltig

6938 RK 101

Ortsangabe: in Hohlwegsystem auf Rücken

Datum: 2004

Lage: R: 4499797; H: 5430191

Höhe über NN: 465,3 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: NE

Bodentyp: Braunerde - Parabraunerde

Inklination: 2,6°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-9	Ail	dunkelbraun; stark humos
9-68	Bt + Bv	braun bis gelbl. braun; Lu, Skelett nach unten hin abnehmend; unscharfe Horizontuntergrenze; carbonatfrei
68-77	Bt	braun bis rötl. braun; Tu3, viel Skelett; unscharfe Horizontgrenzen; FeMn-Konkretionen; carbonatfrei
77-	lCv	hellgelbl. braun bis weissl. braun; stark skeletthaltig; carbonatfrei

6938 RK 102

Ortsangabe: in Hohlwegsystem in Tiefenlinie

Datum: 2004

Lage: R: 4499804; H: 5430180

Höhe über NN: 465,1 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: NE

Bodentyp: gekappte Braunerde - Parabraunerde

Inklination: 2,7°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-47	Bt + Bv	braun bis gelbl. braun; Lu, wenig Skelett nach unten hin zunehmend; unscharfe Horizontuntergrenze; carbonatfrei
47-57	Bt	braun bis rötl. braun; Tu3, viel Skelett; unscharfe Horizontgrenzen; FeMn-Konkretionen; carbonatfrei
57-	lCv	weissl. braun bis olivbraun; stark sandig und skeletthaltig; carbonatfrei

6938 RK 103

Ortsangabe: in Hohlwegsystem auf Rücken

Datum: 2004

Lage: R: 4499810; H: 5430172

Höhe über NN: 465,0 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: NE

Bodentyp: gekappte Braunerde - Parabraunerde

Inklination: 2,8°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
9-33	Bt + Bv	braun bis gelbl. braun; Lu, wenig Skelett; unscharfe Horizontuntergrenze; carbonatfrei
33-45	Bt	braun bis rötl. braun; Tu3, viel Skelett; unscharfe Horizontgrenzen; carbonatfrei
45-	ICv	braun bis orangebraun; stark skeletthaltig, ab 65 cm größere unverwitterte Bestandteile; carbonatfrei

6938 RK 104

Ortsangabe: neben Hohlwegsystem / Oberhang

Datum: 2004

Lage: R: 4499827; H: 5430129

Höhe über NN: 466,3 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: E

Bodentyp: Parabraunerde

Inklination: 2,4°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-20	Al	hellgelbl. braun bis graubraun; Ut2-Ut3, skelettfrei
20-28	Btv	hellbraun; Ut4, skelettfrei; vereinzelt Toncutane sichtbar
28-60	Bt	braun; Tu3, wenig Skelett; FeMn-Konkretionen (diffus); Toncutane deutlich erkennbar
60-140	fBt	braun bis rötl. braun; Tu2, wenig Skelett, zur Horizontuntergrenze hin skelettfrei; diffus verteilte FeMn-Konkretionen, nach unten abnehmend; sehr dicht gelagert
140-	ICv	hellbraun; sandig - lehmig, stark skeletthaltig;

6938 RK 105

Ortsangabe: in Hohlwegsystem in Tiefenlinie

Datum: 2004

Lage: R: 4500053; H: 5430166

Höhe über NN: 460,6 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: E

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 2,9°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-55	M	hellgelbl. braun bis braun; Ut4 / Lu, unstrukturiert verteilte Skelettkomponenten (fGr); FeMn-Konkretionen (diffus); insgesamt strukturlos
55-	ICv - Cv	hellbraun bis graubraun; schluffig verwittertes Anstehendes, nach unten zunehmend Skelett, ab ca. 100 cm stark skeletthaltig (mGr), ab ca. 150 cm gGr

6938 RK 106

Ortsangabe: neben Hohlwegsystem / Mittelhang

Datum: 2004

Lage: R: 4499918; H: 5430132

Höhe über NN: 461,3 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: NE

Bodentyp: Parabraunerde

Inklination: 4,0°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-5	Ah	humos, matt gelbl. braun; nahezu skelettfrei; carbonatfrei
5-35	Al	matt gelbl. orange; Lu, wenig bis kein Skelett; carbonatfrei
35-60	Bt	braun bis hellgelbl. braun; Toncutane sichtbar; Lu, skelettreich, Skelett unregelmäßig über den Horizont verteilt; FeMn-Konkretionen im gesamten Horizont mit Anreicherung an unterer Horizontgrenze; carbonatfrei
60-160	fBt	gelbl. braun; Tl mit unregelmäßig verteiltem Feingrus, sehr kompakt gelagert; carbonatfrei

6938 RK 107

Ortsangabe: in Hohlwegsystem in Tiefenlinie

Datum: 2004

Lage: R: 4499927; H: 5430117

Höhe über NN: 458,9 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: NE

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 4,6°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-50	M	matt gelbl. braun bis hellgelbl. braun; Ut4, wenig bis kein Skelett, unregelmäßig über den Horizont verteilt; strukturlos; carbonatfrei
50-	ICv	hellgelbl. braun bis gelbl. braun; wechselnde Körnungen, insgesamt deutlich mehr Sand und Feingrus als oberhalb; carbonatfrei

6938 RK 108

Ortsangabe: in Hohlwegsystem in Tiefenlinie

Datum: 2004

Lage: R: 4499950; H: 5430106

Höhe über NN: 455,8 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: NE

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 2,4°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-65	M	matt gelbl. braun bis braun; Tu3, nahezu grusfrei, bei 53 cm kantiger Stein ($\varnothing 4\text{cm}$; wenige FeMn-Konkretionen (diffus); Horizontuntergrenze unscharf →; unstrukturiert; carbonatfrei
65-	ICv	braun bis hellgelbl. braun; wechselnde Körnungen; insgesamt deutlich sandiger als oberhalb, nach unten zunehmend skeletthaltig (fGr → mGr / gGr → kantige Steine; carbonatfrei

6938 EK 101

Ortsangabe: unterhalb des Schwemmfächers

Datum: 2003

Lage: R: 4500091; H: 5430177

Höhe über NN: 439,3 m

Aufschlussart: Edelmannbohrer

Exposition: E

Bodentyp: Braunerde

Inklination: 2,7°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-15	Ah	dunkelbraun; stark humos; carbonatfrei
15-30	Ah-Bv	braun; mittelhumbos; Lu, nahezu skelettfrei; carbonatfrei
30-135	Bv	gelbl. braun; Tu3, nahezu skelettfrei; keine Tonverlagerungsmerkmale; carbonatfrei
135-145	Bv-lCv	Verzahnungsbereich zwischen Bv und lCv - Horizont; noch grusfrei, jedoch weniger Ton im Substrat
145-	lCv	wechselnd braun bis hellgelbl. braun; wechselnde Körnungen, insgesamt deutlich sandig grusig (fGr / mGr), wechselnd mit tonigeren grusfreien Bändern

6938 EK 10

Ortsangabe: Sedimentfalle / Braunkreuzwiese

Datum: 2004

Lage: R: 4500182; H: 5430165

Höhe über NN: 435,0 m

Aufschlussart: Edelmannbohrer

Exposition: N

Bodentyp: Anmoor über Braunerde

Inklination: <1°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-17	Aa	dunkelbraun bis schwarzbraun, stark humos
17-62	fBv	hellgelbl. braun bis graubraun; Tu3, wenig bis kein fGr; keine Merkmale der Tonverlagerung erkennbar; carbonatfrei
62-	lCv	gelbl. Braun Bv; Lu, skeletthaltig, fGr/mGr; wenig bindig; carbonatfrei

6938 EK 11

Ortsangabe: Sedimentfalle in Runse

Datum: 2004

Lage: R: 4500164; H: 5430420

Höhe über NN: 419,3 m

Aufschlussart: Edelmannbohrer

Exposition: N

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 3°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-5	Ah (M)	dunkelbraun; stark humos
5-135	M	braun bis gelbl. braun; schwach humos; Lu, tlw. gGr (bei 40 cm) sonst wenig bis kein Skelett; Holzkohle (1744-1498 BC cal = ERL 7213); unstrukturiert gelagert; carbonatfrei
135-	lCv	braun; Lu nach unten zunehmend sandig (Lt2) bis sandig grusig; carbonatfrei

6938 EK 12

Ortsangabe: Sedimentfalle in Runse

Datum: 2004

Lage: R: 4500192; H: 5430623

Höhe über NN: 405,1 m

Aufschlussart: Edelmannbohrer

Exposition: N

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 3°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-5	Ah (M)	dunkelbraun; stark humos
5-100	M	braun; schwach humos; Lu, stellenweise fGr unregelmäßig über den Horizont verteilt, locker und unstrukturiert gelagert; carbonatfrei
100-	lCv	braun; zunehmend sandig bis sandig-grusig (fGr / mGr); carbonatfrei

6938 RK A

Ortsangabe: Unterhalb einer Runse / Oberhang

Datum: 2004

Lage: R: 4500511; H: 5431215

Höhe über NN: 347,3 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: N

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 6,9°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-32	Ap	dunkelbraun bis braun; mittelhumos; Ls2, mit fGr vereinzelt mGr; carbonathaltig
32-82	M1	braun bis hellbraun; schwach humos; Ls2 bis Lt2 mit fGr; Skelettanteil nimmt nach unten ab; Holzkohle; carbonathaltig
82-105	M2	braun; schwach humos; Lt2, wenig Skelettanteil (fGr + tlw. mGr); carbonathaltig
105-130	M3	braun bis hellbraun; Lu / Lt2, deutlich mehr Skelett (fGr + tlw. mGr) gegenüber M2; Holzkohle; carbonathaltig
130 -	ICv	braun bis gelbl. braun, nach unten zunehmend weiß; sandig (Ls3 → Sl3) verwitterndes Anstehendes; sehr stark carbonathaltig

6938 RK B

Ortsangabe: Unterhalb einer Runse / Mittelhang

Datum: 2004

Lage: R: 4500584; H: 5431278

Höhe über NN: 339,8 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: NE

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 3,9°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-25	Ap	dunkelbraun bis braun; mittelhumos; Ls2, mit fGr vereinzelt mGr; carbonathaltig
25-72	M1	braun bis gelbl. braun; schwach humos; Ls2, stark skeletthaltig (fGr + tlw. mGr); carbonathaltig, nach unten hin stark carbonathaltig
72-120	M2	braun; schwach humos; Sl4 / Ls2 mit wenig fGr (unregelmäßig über den Horizont verteilt; carbonathaltig, nach unten hin stärker carbonathaltig
120-160	M3	braun; schwach humos; Ls2 / Ls3, stark skeletthaltig (fGr + tlw. mGr); Holzkohle (153 cm: 4327-4002 BC cal = ERL 7209); carbonathaltig, nach unten hin stärker carbonathaltig
160-172	M4	braun; schwach humos; Ls3 mit wenig fGr; carbonathaltig
172-	ICv	braun bis gelbl. braun; Lt3 mit viel Grus verschiedener Fraktionen, nicht sortiert; schwach carbonathaltig

6938 RK C

Ortsangabe: Unterhalb einer Runse / Unterhang

Datum: 2004

Lage: R: 4500630; H: 5431348

Höhe über NN: 336,1 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: NE

Bodentyp: Kolluvisol

Inklination: 2,1°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-25	Ap	dunkelbraun bis braun; mittelhumos; Lt2, mit fGr und fG; carbonathaltig
25-150	M1	braun bis gelbl. braun; schwach humos; Ls2, mit fGr und fG (unsortiert); Holzkohleflitter; carbonathaltig
150-222	aM2	braun bis graubraun, nach unten hin dunkler; Ls2 / Lt2 mit fG; Holzkohle (761 - 401 BC cal = ERL 7210); carbonathaltig
230-238	fAh	dunkelbraun bis schwarzbraun; mittelhumos; Lt2 mit hohem Skelettanteil; hoher Organikanteil (3310 - 2885 BC cal = ERL 7211); carbonathaltig
238-	aM3	braun bis graubraun; unterschiedliche Körnungen, nach unten zunehmend sandiger (Lt2 → Sl4), wechselnde Skelettanteile (schwache Seigerung); Holzkohleflitter; insgesamt schwach carbonathaltig, einige Skelettfragmente sehr stark carbonathaltig

6938 RK D

Ortsangabe: Naabaue bei Waltenhofen

Datum: 2004

Lage: R: 4500650; H: 5431370

Höhe über NN: 335,2 m

Aufschlussart: Rammkernsondierung

Exposition: S

Bodentyp: Auelehm

Inklination: <1°

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung
0-5	Ah	dunkelbraun bis braun; mittelhumos; Lu, mit wenig fG; carbonathaltig
5-90	aM	braun bis dunkelbraun; schwach bis mittelhumos; Uls mit variierenden fG Anteilen, an Horizontuntergrenze sehr viel fG + mG; carbonathaltig
90-135	Gr	dunkel graubraun; schwach humos; Ut4, skelettfrei; schwach carbonathaltig
135-324	Go	sandig lehmig mit unterschiedlicher Ausprägung; tlw. fG bis mG, tlw. kiesfrei, sortiert; carbonathaltig bis stark carbonathaltig (nach unten hin)
324-330	fAh	dunkelbraun bis schwarzbraun; mittelhumos; Ls2 mit hohem Anteil an fG; carbonathaltig
330-410	Gr	grau bis dunkelgrau; schwach bis mittelhumos; sandig lehmig, Skelettfrei; carbonathaltig

Profil: 6938 RK1

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T									
1	Ah (M)	0-5	0,00	0,3	0,8	2,9	4,0	20,4	35,0	12,3	67,7	28,4	Tu4	3,38	-	10 YR 4/4	1,8	3,1	0,13	14	
2	M	5-29	0,00	0,3	1,1	2,9	4,2	21,2	33,1	14,5	68,7	27,0	Tu4	3,81	-	10 YR 5/6	0,6	1,1	0,06	10	
3	M	29-52	3,73	1,2	3,2	16,7	21,0	22,4	16,7	8,1	47,3	31,7	Lt2	4,32	-	10 YR 5/8	0,3	0,6	0,04	8	
4	M	52-86	0,73	1,2	1,4	10,2	12,7	33,0	21,5	6,8	61,4	25,9	Lu	4,46	-	10 YR 5/8	0,2	0,4	0,03	8	
5	M	86-129	3,03	2,0	2,1	5,9	9,9	22,7	28,2	13,3	64,2	25,9	Lu	4,66	-	10 YR 6/6	0,3	0,5	0,04	9	
6	fBt	129-144	1,04	1,4	1,6	4,4	7,3	16,0	24,4	12,4	52,8	39,9	Tu3	4,67	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,3	0,03	6	
7	fBt	144-176	0,29	0,5	0,9	3,9	5,3	17,4	22,0	11,0	50,4	44,3	Tu3	4,99	-	7,5 YR 5/6	0,1	0,2	0,03	5	
8	fBt-lCv	176-240	8,83	4,1	2,5	7,6	14,2	23,6	22,9	9,8	56,3	29,5	Lu	6,09	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,3	0,03	7	
9	lCv	240-300	16,32	7,9	5,3	15,5	28,7	22,1	19,6	7,3	48,9	22,4	Ls2	7,68	13,45	10 YR 5/6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
10	lCv	300-350	36,79	9,0	5,1	18,1	32,2	19,0	17,2	7,8	44,0	23,8	Ls2	7,64	6,23	10 YR 5/8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	

Profil: 6938 RK 2

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T									
1	Ah (M)	0-9	0,00	1,1	1,3	3,8	6,2	20,2	31,2	16,2	67,6	26,2	Tu4	3,64	-	10 YR 4/3	2,7	4,6	0,19	14	
2	M1	9-31	0,12	0,6	1,2	3,5	5,2	25,9	29,4	12,4	67,8	27,0	Tu4	4,03	-	10 YR 6/6	0,6	1,1	0,06	10	
3	M2	31-68	1,27	1,5	1,7	8,6	11,8	30,2	26,3	8,0	64,5	23,7	Lu	4,33	-	10 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	8	
4	M3	68-81	2,82	3,5	2,8	7,1	13,3	31,4	26,8	7,8	66,0	20,7	Ut4	4,46	-	10 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	8	
5	M3	81-191	0,05	1,8	1,8	6,9	10,6	30,0	29,3	11,0	70,3	19,2	Ut4	4,47	-	10 YR 5/6	0,3	0,5	0,03	9	
6	fBt	191-220	34,69	4,5	2,6	7,8	14,9	20,7	19,1	9,3	49,1	36,0	Lt3	4,64	-	10 YR 5/6	0,1	0,3	0,03	5	
7	fBt-lCv	220-240	13,94	4,1	2,3	8,0	14,5	26,5	20,9	8,1	55,5	30,0	Tu3	7,31	0,71	10 YR 5/6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
8	lCv	240-275	15,18	4,1	3,4	10,3	17,8	26,6	22,3	7,5	56,4	25,8	Lu	7,72	7,63	10 YR 6/6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
9	lCv	275-373	40,42	5,2	4,1	21,3	30,5	17,3	15,0	7,7	40,0	29,5	Lt2	7,69	3,82	10 YR 6/8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	

Profil: 6938 RK 3

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T								
1	Ah (M)	0-5	0,41	1,7	1,9	5,7	9,3	24,2	28,0	14,0	66,1	24,6	Ut4	n.b.	-	10 YR 4/4	5,5	9,5	0,33	17
2	M	5-18	0,00	0,3	0,9	4,5	5,7	21,3	29,7	14,9	65,9	28,4	Tu4	3,78	-	10 YR 4/6	1,4	2,3	0,12	12
3	M	18-40	0,64	1,1	1,9	8,4	11,3	27,7	24,1	9,3	61,0	27,7	Lu	4,18	-	10 YR 5/6	0,5	0,9	0,06	10
4	M	40-65	3,22	2,2	2,7	7,7	12,6	26,1	24,5	10,0	60,6	26,8	Lu	4,28	-	10 YR 5/6	0,6	1,1	0,06	11
5	M	65-74	1,04	2,9	2,7	8,3	14,0	27,8	23,6	8,2	59,5	26,5	Lu	4,33	-	10 YR 6/6	0,4	0,7	0,04	10
6	M	74-95	1,10	0,7	1,3	8,7	10,7	26,4	25,0	9,1	60,4	28,9	Lu	4,36	-	10 YR 5/6	0,3	0,5	0,04	9
7	M	95-108	2,42	2,2	2,0	11,1	15,2	26,6	21,3	7,1	55,0	29,8	Lu	4,54	-	10 YR 4/6	0,2	0,4	0,03	8
8	M	108-120	2,50	2,6	1,3	9,2	13,2	28,4	24,2	7,6	60,2	26,7	Lu	4,66	-	10 YR 4/6	0,2	0,4	0,03	8
9	M	120-130	1,45	2,1	1,6	9,0	12,7	24,1	24,7	8,1	57,0	30,3	Tu3	4,57	-	10 YR 4/6	0,2	0,4	0,03	9
10	fBt	130-140	5,98	2,7	3,0	10,8	16,5	18,4	16,7	8,0	43,2	40,4	Lt3	4,60	-	10 YR 4/6	0,2	0,4	0,03	7
11	fBt-lCv	140-150	8,33	2,9	3,6	14,8	21,3	21,8	15,8	7,5	45,0	33,7	Lt2	4,68	-	10 YR 5/8	0,2	0,4	0,03	8
12	lCv	150-170	41,37	5,1	4,4	10,8	20,3	19,9	17,9	9,0	46,8	32,9	Lt2	4,76	-	10 YR 5/8	0,3	0,5	0,03	9
13	lCv	170-195	24,73	3,2	2,5	9,8	15,5	25,7	19,2	8,0	52,9	31,6	Tu3	4,66	-	10 YR 4/6	0,3	0,4	0,03	9
14	lCv	195-220	38,15	4,0	3,2	10,5	17,6	22,2	19,4	9,7	51,3	31,1	Tu3	4,76	-	10 YR 5/6	0,3	0,6	0,03	10
15	lCv	220-225	1,33	0,8	1,2	10,0	11,9	34,9	19,8	6,7	61,3	26,8	Lu	5,18	-	10 YR 5/6	0,2	0,4	0,02	10
16	lCv	225-233	1,43	3,5	2,0	8,7	14,2	23,5	20,2	9,0	52,7	33,1	Tu3	5,88	-	10 YR 5/6	0,3	0,5	0,03	9
17	lCv	233-270	n.b.	5,9	3,7	15,5	25,1	19,9	15,9	10,4	46,2	28,7	Lt2	6,88	0,43	10 YR 6/6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Profil: 6039 RK 4

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T								
1	Ah (M)	0-5	0,36	1,5	1,3	5,4	8,1	22,2	27,4	14,1	63,7	28,1	Lu	3,47	-	10 YR 3/3	3,4	5,8	0,21	16
2	M1	5-50	2,78	1,3	1,5	6,1	8,9	26,0	25,0	10,7	61,7	29,3	Lu	3,92	-	7,5 YR 5/6	1,0	1,8	0,08	13
3	M1	50-80	3,81	1,7	1,9	9,0	12,6	27,5	23,4	8,7	59,6	27,7	Lu	4,34	-	7,5 YR 5/6	0,4	0,6	0,04	9
4	M1	80-110	4,09	2,8	2,2	11,1	16,1	29,7	20,7	6,5	56,8	27,0	Lu	4,42	-	7,5 YR 5/6	0,3	0,5	0,03	10
5	M1	110-125	18,43	5,0	3,1	10,5	18,7	28,6	20,1	8,0	56,6	24,7	Lu	4,50	-	7,5 YR 5/6	0,3	0,6	0,03	11
6	M2	125-145	1,02	2,6	1,5	5,2	9,4	28,6	29,3	11,3	69,2	21,4	Ut4	4,50	-	10 YR 5/6	0,3	0,5	0,03	10
7	M2	145-170	6,11	4,4	1,5	5,1	11,0	28,2	26,7	10,8	65,7	23,2	Ut4	4,54	-	10 YR 5/6	0,3	0,5	0,03	10
8	fBt	170-190	1,99	2,0	1,5	4,9	8,5	22,4	23,7	9,7	55,9	35,6	Tu3	4,60	-	7,5 YR 5/6	0,3	0,4	0,03	7
9	fBt-lCv	190-200	33,67	2,2	2,0	5,9	10,0	17,0	19,8	10,5	47,2	42,7	Lt3	4,65	-	7,5 YR 6/6	0,2	0,4	0,04	7
10	lCv	200-250	n.b.	4,8	4,4	17,4	26,7	10,2	11,4	12,3	33,9	39,3	Lt3	6,86	1,22	10 YR 6/8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
11	Cv	210-220	15,98	2,1	1,9	5,2	9,2	5,2	7,3	8,7	21,1	69,7	Tt	n.b.	n.b.	7,5 YR 5/6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Profil: 6938 RK 5

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				K o r n g r ö ß e n G e w. %																	
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T									
1	M1	5-20	0,00	0,2	0,6	2,6	3,4	21,8	29,9	14,9	66,7	29,9	Tu4	3,68	-	10 YR 4/6	1,1	1,9	0,10	11	
2	M1	20-40	1,72	0,6	0,9	4,5	6,0	25,7	28,3	10,7	64,7	29,3	Lu	4,06	-	7,5 YR 5/6	0,6	1,0	0,06	10	
3	M2	40-60	46,91	7,9	5,3	10,9	24,1	22,1	16,4	8,4	46,8	29,2	Lt2	4,31	-	7,5 YR 5/6	0,3	0,6	0,04	9	
4	M2	60-75	5,31	1,2	2,5	12,4	16,1	29,4	20,4	6,4	56,3	27,6	Lu	4,37	-	7,5 YR 5/6	0,3	0,5	0,05	6	
5	M2	75-115	36,84	4,9	4,8	11,3	21,0	14,4	17,4	10,6	42,5	36,6	Lt3	4,40	-	7,5 YR 5/6	0,4	0,7	0,03	13	
6	M3	115-130	10,06	2,6	2,3	9,3	14,3	31,4	21,3	7,2	59,9	25,8	Lu	4,74	-	10 YR 5/6	0,3	0,5	0,02	12	
7	M3	130-150	3,78	6,6	3,4	9,7	19,7	27,6	23,4	6,6	57,6	22,7	Lu	4,80	-	10 YR 5/6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
8	M3	150-170	5,26	4,6	2,7	8,7	16,1	27,7	26,6	9,5	63,9	20,0	Lu	4,75	-	10 YR 4/6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
9	M3	170-195	5,47	2,9	2,2	6,7	11,9	26,0	27,1	11,5	64,6	23,5	Lu	4,67	-	10 YR 4/6	0,2	0,4	0,03	7	
10	M3	195-205	3,82	1,3	1,8	7,5	10,6	22,4	27,3	11,2	60,9	28,4	Lu	4,67	-	10 YR 5/6	0,1	0,2	0,02	5	
11	fBt	205-220	n.b.	2,4	2,3	7,5	12,2	21,3	21,9	9,6	52,9	34,9	Tu3	4,65	-	7,5 YR 4/6	0,1	0,2	0,03	4	
12	fB-lCv	220-240	s	3,0	2,9	8,3	14,2	19,9	19,5	9,5	48,9	36,9	Lt3	4,59	-	7,5 YR 4/6	0,1	0,2	0,03	5	

Profil: 6938 RK 6

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T									
2	M	5-13	0,00	1,4	2,2	5,0	8,6	23,6	26,2	13,1	62,9	28,5	Lu	3,51	-	10 YR 4/4	1,8	3,1	0,13	14	
3	M	13-39	0,75	2,3	2,2	6,4	11,0	23,7	27,6	10,0	61,2	27,7	Lu	3,98	-	10 YR 5/6	0,5	0,9	0,05	10	
4	M	39-60	2,61	3,9	1,5	5,0	10,5	27,7	27,1	11,6	66,5	23,1	Ut4	4,12	-	10 YR 5/6	0,3	0,6	0,04	10	
5	M	60-80	2,67	1,8	1,7	5,0	8,5	25,5	27,1	11,8	64,4	27,0	Lu	4,22	-	7,5 YR 5/6	0,3	0,5	0,03	9	
6	fBt	80-110	27,01	2,7	1,7	5,3	9,8	18,4	19,5	8,9	46,8	43,4	Lt3	4,35	-	7,5 YR 5/8	0,3	0,5	0,03	10	
7	fBt-lCv	110-130	1,81	4,1	1,8	6,6	12,5	13,7	13,9	8,3	36,0	51,5	Tu2	4,44	-	7,5 YR 5/8	0,2	0,3	0,03	7	
8	lCv	130-155	1,12	2,6	1,4	7,6	11,5	12,7	14,5	11,2	38,4	50,0	Tu2	4,79	-	7,5 YR 5/8	0,3	0,5	0,03	8	
9	lCv	170-190	6,08	12,5	3,1	18,9	34,4	6,1	9,8	11,2	27,2	38,4	Lts	7,00	0,80	10 YR 5/8	0,0	0,1	0,02	2	

Profil: 6938 RK 7

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T								
1	Ah (M)	0-5	0,00	1,4	2,2	7,2	10,8	21,4	26,2	14,3	61,8	27,3	Lu	3,25	-	10 YR 3/3	4,9	8,4	0,28	18
2	M	5-25	1,67	4,8	2,7	8,5	16,1	20,2	23,0	11,3	54,5	29,4	Lu	3,71	-	10 YR 4/6	0,9	1,6	0,08	12
3a	M	25-30	1,20	4,3	3,2	12,1	19,6	22,7	19,5	8,1	50,2	30,2	Tu3	4,02	-	10 YR 3/3	0,5	0,9	4,00	0
3b	M	30-45	14,93	7,9	4,2	12,6	24,7	19,1	15,8	7,7	42,6	32,7	Lt2	4,25	-	10 YR 3/3	0,3	0,6	0,04	9
4	M	45-55	0,25	1,4	2,0	14,7	18,1	25,2	16,5	7,9	49,5	32,4	Lt2	4,41	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,3	0,03	7
5	M	55-65	0,54	1,4	1,6	11,8	14,8	30,0	20,3	6,9	57,2	27,9	Lu	4,48	-	10 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	8
6	M	65-80	13,79	5,6	3,1	12,6	21,3	23,0	17,5	7,7	48,3	30,4	Lt2	4,57	-	10 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	8
7	M	80-100	3,05	1,8	2,0	12,6	16,4	25,3	19,3	8,8	53,5	30,2	Tu3	4,61	-	10 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	7
8	M	100-120	10,50	5,7	4,1	13,1	22,8	23,4	18,7	7,6	49,6	27,6	Lt2	4,68	-	7,5 YR 4/6	0,2	0,4	0,03	8
9	M	120-135	3,24	2,9	2,5	11,9	17,3	28,4	21,9	8,3	58,7	24,0	Lu	4,68	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	8
10	M	135-157	0,00	0,2	0,4	4,7	5,3	35,2	32,1	8,3	75,6	19,1	Ut4	4,65	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	8
11	M	157-176	4,40	3,6	1,9	7,3	12,7	30,1	29,8	10,6	70,5	16,7	Ut3	4,61	-	10 YR 5/6	0,3	0,6	0,04	10
12	M	176-200	2,29	3,3	2,3	7,3	12,9	29,8	25,3	11,2	66,4	20,7	Ut4	4,58	-	10 YR 4/6	0,2	0,4	0,03	8
13	fBt-lCv	200-230	12,58	1,8	2,0	7,6	11,4	22,0	23,0	10,3	55,4	33,2	Tu3	4,54	-	7,5 YR 5/6	0,1	0,2	0,03	4
14	lCv	230-270	n.b.	2,7	2,4	7,7	12,8	19,5	18,8	9,5	47,8	39,4	Lt3	n.b.	-	7,5 YR 5/6	0,1	0,3	0,03	5

Profil: 6938 RK 8

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T									
1	Ah (M)	0-10	0,00	0,5	1,1	2,3	4,0	21,3	32,5	15,2	69,0	27,0	Tu4	3,36	-	10 YR 3/3	4,7	8,0	0,29	16	
2	M	10-15	0,00	0,1	0,4	1,4	1,9	23,0	30,8	15,6	69,4	28,7	Tu4	3,57	-	10 YR 3/4	1,7	3,0	0,13	13	
3	M	15-25	0,00	0,1	0,6	1,4	2,0	19,4	33,3	14,7	67,5	30,5	Tu4	3,85	-	10 YR 4/6	0,8	1,4	0,07	11	
4	M	25-35	0,00	0,3	0,6	2,5	3,3	26,7	28,8	13,1	68,6	28,1	Tu4	4,02	-	10 YR 4/6	0,7	1,2	0,07	11	
5	M	40-50	2,90	3,6	2,2	8,4	14,2	27,0	23,6	9,8	60,4	25,5	Lu	4,28	-	10 YR 4/6	0,6	1,1	0,05	14	
6	M	45-70	0,64	1,9	1,5	11,3	14,6	30,6	18,6	6,6	55,8	29,6	Lu	4,33	-	10 YR 5/6	0,3	0,5	0,03	10	
7	M	70-77	0,27	0,6	0,9	6,8	8,4	35,4	21,6	7,2	64,2	27,4	Lu	4,52	-	10 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	8	
8	fBt	77-90	17,78	9,3	4,6	11,9	25,7	19,1	15,5	8,0	42,6	31,7	Lt2	4,70	-	10 YR 5/6	0,2	0,4	0,02	10	
9	fBt	90-113	2,29	0,6	0,8	4,1	5,5	29,3	28,0	0,6	57,9	36,6	Tu3	4,58	-	7,5 YR 5/6	0,3	0,6	0,04	9	
10	lCv	113-150	8,22	3,7	2,5	7,3	13,5	27,1	26,5	10,7	64,2	22,2	Lu	4,58	-	10 YR 5/6	0,3	0,5	0,03	10	
11	lCv	150-160	3,72	2,9	2,2	8,5	13,6	24,2	28,1	10,6	62,9	23,5	Lu	4,47	-	10 YR 6/6	0,2	0,3	0,02	8	
12	lCv	160-170	30,01	3,2	2,1	8,8	14,1	21,8	26,6	11,2	59,6	26,4	Lu	4,47	-	7,5 YR 5/6	0,1	0,2	0,02	6	
13	lCv	170-205	35,95	4,2	2,7	8,4	15,3	16,8	17,2	9,6	43,5	41,2	Lt3	4,37	-	7,5 YR 5/6	0,1	0,3	0,03	6	
14	lCv	205-257	3,57	3,2	2,5	11,6	17,3	13,5	12,4	10,2	36,1	46,6	Tu2	4,31	-	10 YR 6/8	0,1	0,1	0,02	4	

Profil: 6938 RK 9

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T								
2	M	13-25	0,00	0,2	0,7	2,1	3,1	18,0	32,3	16,5	66,9	30,0	Tu4	3,56	-	10 YR 4/6	1,0	1,7	0,20	5
3	M	25-38	0,16	0,2	0,9	2,1	3,2	19,3	30,6	16,5	66,3	30,5	Tu4	3,84	-	10 YR 5/6	0,8	1,4	0,08	10
4	M	38-46	0,00	0,2	1,3	2,5	4,0	19,3	30,7	15,5	65,5	30,5	Tu4	3,96	-	7,5 YR 5/6	0,5	0,9	0,07	7
5	M	46-65	0,00	0,3	0,7	4,1	5,0	23,0	29,8	11,2	63,9	31,1	Tu3	4,15	-	7,5 YR 5/6	0,4	0,7	0,05	8
6	M	65-75	0,77	5,7	2,3	6,9	14,9	19,7	23,4	8,8	51,9	33,3	Tu3	4,23	-	7,5 YR 4/6	0,4	0,7	0,04	10
7	M	75-90	0,00	1,1	1,6	6,4	9,1	28,7	25,7	9,4	63,8	27,0	Lu	4,21	-	7,5 YR 5/6	0,4	0,7	0,04	10
8	M	90-120	3,59	3,3	2,5	8,0	13,7	24,5	27,4	11,8	63,7	22,6	Lu	4,39	-	10 YR 4/6	0,4	0,7	0,04	11
9	fBt	120-130	2,05	2,7	1,9	6,8	11,4	20,2	24,9	11,4	56,4	32,1	Tu3	4,51	-	7,5 YR 4/6	0,3	0,5	0,03	8
10	fBt	130-135	1,88	1,6	1,6	6,2	9,3	21,5	20,7	10,3	52,4	38,2	Tu3	4,61	-	7,5 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	8
11	fBt	135-150	0,23	0,6	1,0	3,3	4,9	21,3	18,7	13,4	53,4	41,7	Tu3	4,84	-	7,5 YR 5/8	0,2	0,4	0,03	8
12	fBt	150-160	2,47	1,5	0,9	3,0	5,3	23,3	21,2	9,9	54,4	40,3	Tu3	5,11	-	7,5 YR 4/6	0,2	0,3	0,03	5
13	fBt-lCv	160-170	0,15	0,8	0,6	3,0	4,4	28,5	23,9	9,1	61,5	34,1	Tu3	5,41	-	7,5 YR 4/6	0,2	0,3	0,02	8
14	lCv	170-180	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
15	lCv	170-200	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
16	lCv	200-220	22,34	4,5	2,3	16,0	22,8	19,9	13,5	9,0	42,4	36,3	Lt3	7,20	1,59	7,5 YR 5/6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
17	lCv	220-245	52,47	2,5	2,1	23,4	28,1	8,2	11,4	9,9	29,5	42,4	Lts	7,58	3,89	7,5 YR 6/6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
18	lCv	245-275	1,65	0,2	0,3	70,7	71,1	0,9	1,9	2,3	5,1	23,8	St3	7,20	0,32	10 YR 6/6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Profil: 6938 RK 10

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe	C %	org.S %	N %	C/N	
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T									
2	M	8-25	0,02	0,4	0,9	5,2	6,6	28,3	31,3	11,3	70,9	22,5	Ut4	3,50	-	7,5	YR 4/4	0,9	1,5	0,10	9
3	M	25-38	0,33	1,0	1,1	6,1	8,2	32,1	26,2	7,1	65,4	26,5	Tu4	3,75	-	10	YR 5/6	0,4	0,7	0,04	10
4	M	38-55	2,47	4,1	2,0	8,7	14,7	25,6	21,0	7,5	54,2	31,0	Tu3	4,17	-	7,5	YR 5/6	0,3	0,5	0,03	9
5	M	55-72	3,64	4,8	2,3	11,0	18,2	24,4	22,0	7,1	53,5	28,3	Lu	4,38	-	7,5	YR 5/6	0,3	0,5	0,03	10
6	M	72-95	4,75	2,1	1,6	6,0	9,7	27,1	29,3	12,6	68,9	21,3	Ut4	4,43	-	10	YR 5/6	0,3	0,5	0,03	10
7	M	95-112	2,00	2,1	2,2	8,5	12,8	22,7	28,8	13,1	64,6	22,6	Lu	4,36	-	10	YR 4/6	0,3	0,5	0,04	8
8	M	112-120	0,89	1,8	2,1	7,8	11,7	18,8	27,2	13,3	59,3	29,0	Lu	4,34	-	10	YR 4/6	0,3	0,4	0,03	7
9	fBt	120-140	1,51	1,5	2,4	7,0	10,9	20,1	23,9	11,8	55,8	33,3	Tu3	4,31	-	7,5	YR 5/6	0,6	1,0	0,05	13
10	fBt	140-173	16,43	2,6	1,8	8,4	12,8	24,7	21,5	8,7	54,8	32,4	Tu3	6,20	-	7,5	YR 5/6	0,2	0,3	0,02	7
11	lCv	173-230	9,89	4,1	2,1	8,2	14,5	29,9	23,7	8,6	62,1	23,4	Lu	7,55	11,80	10	YR 5/6	1,6	2,7	0,02	74
12	lCv	230-295	5,52	4,1	2,5	9,4	15,9	25,7	21,3	12,6	59,6	24,4	Lu	7,59	11,63	10	YR 5/6	1,5	2,6	0,02	71
13	lCv	295-350	10,57	3,0	2,5	22,4	27,9	12,1	17,6	7,3	37,0	35,1	Lt3	7,47	3,42	10	YR 5/8	0,7	1,1	0,02	32
14	lCv	350-385	3,79	0,8	1,7	44,2	46,6	6,1	8,3	6,9	21,3	32,0	Lts	7,14	0,51	10	YR 5/8	0,1	0,1	0,02	

Profil: 6938 RK105

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 +/-	Munsell- farbe									
				gS		mS		fS		S		gU					mU		fU		U		T		
1	M	4-10	1,27	2,0	1,7	6,5	10,2	33,7	28,5	10,4	72,6	17,2	Ut4	n.b.	-	10	YR 4/6								
2	M	10-25	0,49	2,0	1,6	8,0	11,5	31,7	28,6	8,4	68,7	19,8	Ut4	n.b.	-	10	YR 4/6								
3	M	25-42	0,90	5,0	3,4	13,0	21,5	33,3	20,3	6,4	60,0	18,5	Lu	n.b.	-	10	YR 4/6								
4	M	42-55	0,04	0,8	1,0	9,3	11,2	47,8	16,0	6,7	70,5	18,3	Ut4	n.b.	-	10	YR 4/6								
5	lCv	55-67	3,05	4,5	2,4	11,4	18,4	32,7	25,3	6,8	64,8	16,9	Uls	n.b.	-	10	YR 4/4								
6	lCv	67-77	0,93	2,1	2,5	14,8	19,4	33,6	24,7	5,5	63,8	16,7	Uls	n.b.	-	10	YR 4/6								
7	lCv	77-100	1,06	2,1	1,3	8,4	11,8	33,9	31,5	6,9	72,3	15,9	Ut3	n.b.	-	7,5	YR 4/6								
8	lCv	100-135	9,95	11,9	6,9	14,3	33,2	26,0	15,6	5,6	47,2	19,7	Ls2	n.b.	-	10	YR 4/6								
9	lCv	135-150	0,76	1,6	0,7	9,9	12,2	43,7	25,9	4,1	73,7	14,1	Ut3	n.b.	-	10	YR 4/6								
10	lCv	150-180	0,76	3,4	2,0	6,5	11,9	21,2	23,2	9,3	53,7	34,3	Tu3	n.b.	-	10	YR 4/6								
11	lCv	180-195	4,73	2,7	2,0	8,0	12,6	20,7	20,2	10,4	51,2	36,1	Tu3	n.b.	-	10	YR 4/6								

Profil: 6938 RK106

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 +/-	Munsell- farbe
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T					
1	Ah	0-4	0,09	0,5	2,6	8,1	11,1	18,8	28,9	16,9	64,6	24,3	Lu	n.b.	-	10	YR 5/4
2	Al	4-35	1,38	3,4	4,5	8,6	16,5	17,3	26,3	14,3	58,0	25,5	Lu	n.b.	-	10	YR 6/4
3	Bt	35-60	15,00	3,3	4,2	10,8	18,3	18,9	21,2	12,2	52,3	29,4	Lu	n.b.	-	10	YR 6/6
4	fBt	60-72	1,02	1,3	3,8	9,3	14,4	9,2	9,5	6,8	25,5	60,1	Tl	n.b.	-	10	YR 6/8
5	fBt	72-130	5,39	5,9	5,7	9,6	21,2	10,6	10,4	5,9	26,9	51,9	Tl	n.b.	-	10	YR 7/6
6	fBt	130-160	0,00	0,2	0,3	1,2	1,7	4,0	13,4	27,6	45,0	53,3	Tu2	n.b.	-	2,5	YR 7/8

Profil: 6938 RK107

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 +/-	Munsell- farbe
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T					
1	M	0-5	0,33	1,2	1,1	4,9	7,1	30,5	34,0	10,5	75,0	17,9	Ut4	n.b.	-	10 YR 5/4	
2	M	5-15	0,33	0,8	0,7	4,3	5,8	29,6	35,0	9,9	74,5	19,7	Ut4	n.b.	-	10 YR 6/4	
3	M	15-30	0,16	0,9	0,6	6,1	7,6	32,2	30,4	9,3	72,0	20,4	Ut4	n.b.	-	10 YR 6/6	
4	M	30-50	0,65	1,5	0,8	6,0	8,4	34,4	30,8	7,1	72,3	19,3	Ut4	n.b.	-	10 YR 5/6	
5	lCv	50-80	8,75	6,0	2,1	8,2	16,3	28,6	28,4	7,9	65,0	18,7	Lu	n.b.	-	10 YR 5/6	
6	lCv	80-100	0,35	0,2	0,8	11,5	12,6	39,8	27,0	5,4	72,2	15,2	Ut3	n.b.	-	10 YR 6/6	
7	lCv	100-103	11,20	8,7	6,2	12,5	27,4	28,5	17,9	6,3	52,7	19,9	Lu	n.b.	-	10 YR 4/6	
8	lCv	103-130	1,00	1,1	0,9	10,0	11,9	38,1	22,3	6,4	66,8	21,3	Ut4	n.b.	-	10 YR 5/6	
9	lCv	130-140	1,84	1,1	1,3	8,1	10,4	23,1	22,3	8,9	54,3	35,2	Tu3	n.b.	-	10 YR 5/6	
10	lCv	140-150	2,55	3,9	2,1	9,2	15,2	20,1	17,6	9,0	46,6	38,2	Lt3	n.b.	-	10 YR 6/6	
11	lCv	150-163	6,19	5,7	4,4	13,8	23,9	17,4	15,2	7,9	40,4	35,7	Lt3	n.b.	-	10 YR 5/6	
12	lCv	163-210	36,36	7,1	12,0	18,3	37,3	13,7	8,4	8,7	30,8	31,9	Lt2	n.b.	-	10 YR 6/8	

Profil: 6938 RK108

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 +/-	Munsell- farbe
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T					
1	M	0-9	0,29	2,5	1,6	4,9	8,9	15,0	26,7	17,2	58,9	32,2	Tu3	n.b.	-	10 YR 4/3	
2	M	9-25	0,01	0,3	1,3	3,0	4,6	17,4	34,3	12,8	64,5	30,9	Tu3	n.b.	-	10 YR 5/4	
3	M	25-40	0,40	1,5	2,3	5,1	8,9	22,2	26,8	9,8	58,9	32,2	Tu3	n.b.	-	10 YR 5/6	
4	M	40-60	0,24	0,9	2,4	3,7	7,0	19,7	29,1	13,2	62,0	31,0	Tu3	n.b.	-	10 YR 6/6	
5	M	60-65	1,97	2,1	2,5	6,0	10,5	21,2	27,6	12,0	60,8	28,7	Lu	n.b.	-	10 YR 5/4	
6	lCv	65-90	1,05	3,7	2,3	5,9	11,8	19,6	27,2	10,7	57,4	30,8	Tu3	n.b.	-	10 YR 4/4	
7	lCv	90-100	4,23	4,4	2,9	7,1	14,5	21,0	22,2	9,8	53,0	32,6	Tu3	n.b.	-	10 YR 5/6	
8	lCv	100-140	9,99	9,6	3,7	7,8	21,1	16,8	19,0	10,2	46,0	32,9	Lt2	n.b.	-	10 YR 6/6	
9	lCv	140-215	24,98	7,1	5,0	24,6	36,6	15,6	10,7	9,6	35,9	27,4	Lt2	n.b.	+	2,5 YR 6/6	

Profil: 6938 EK101

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 +/-	Munsell- farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				G e w. %																	
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T									
1	Ah-Bv	0-13	0,5	1,4	1,5	5,5	8,3	20,7	26,9	19,1	66,6	25,0	Tu4	3,66	-	10 YR 3/4	1,4	2,4	0,13	10	
2		22-27	0,2	1,1	1,3	4,8	7,2	23,0	27,9	13,5	64,4	28,4	Lu	3,98	-	10 YR 4/6	0,9	1,6	0,06	15	
3		35-41	0,1	0,4	1,0	5,2	6,6	27,2	25,7	9,5	62,4	31,0	Tu3	4,23	-	10 YR 5/6	0,3	0,6	0,04	8	
4	Bv	48-53	0,1	0,3	0,9	9,1	10,3	30,3	21,2	8,0	59,5	30,3	Tu3	4,29	-	10 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	8	
5	Bv	55-66	0,0	0,2	0,9	10,7	11,8	29,4	19,1	7,0	55,5	32,6	Tu3	4,38	-	10 YR 5/6	0,3	0,5	0,04	9	
6	Bv	66-77	0,0	0,1	0,3	6,0	6,3	29,3	24,7	7,2	61,2	32,4	Tu3	4,38	-	10 YR 5/6	0,2	0,3	0,03	6	
7	Bv	85-103	0,1	0,1	0,3	5,6	6,0	27,5	24,0	7,6	59,1	34,9	Tu3	4,40	-	10 YR 5/8	0,1	0,2	0,03	5	
8	Bv	110-124	0,3	0,7	0,8	7,7	9,2	28,6	20,8	6,8	56,1	34,7	Tu3	4,47	-	10 YR 5/8	0,2	0,3	0,03	7	
9	Bv	124-135	0,0	0,3	0,5	5,1	5,8	29,2	24,1	7,5	60,8	33,4	Tu3	4,49	-	10 YR 5/6	0,4	0,6	0,04	9	
10	Bv-lCv	135-144	0,0	0,3	0,7	5,7	6,8	28,1	27,4	7,8	63,2	30,0	Lu	4,50	-	10 YR 5/6	0,4	0,6	0,04	9	
11	lCv	150-158	3,4	6,6	2,4	7,4	16,4	26,4	24,2	7,4	58,0	25,7	Lu	4,53	-	10 YR 5/6	0,4	0,6	0,04	10	
12	lCv	158-168	2,3	1,4	1,4	5,6	8,3	33,5	28,0	6,9	68,5	23,2	Ut4	4,45	-	10 YR 5/8	0,4	0,7	0,04	11	
13	lCv	168-179	10,3	4,7	2,3	6,7	13,8	24,6	23,2	13,2	61,1	25,1	Lu	4,65	-	10 YR 5/6	0,3	0,6	0,03	10	
14	lCv	179-187	4,7	3,2	2,8	8,7	14,8	23,4	24,4	10,4	58,1	27,1	Lu	4,71	-	10 YR 5/6	0,4	0,6	0,04	10	
15	lCv	187-196	19,1	5,5	4,0	8,6	18,0	25,1	21,6	8,8	55,4	26,6	Lu	4,72	-	10 YR 5/6	0,3	0,6	0,03	10	
16	lCv	196-210	15,0	4,4	3,6	11,5	19,5	24,6	20,1	8,5	53,1	27,4	Lu	4,80	-	10 YR 4/6	0,3	0,5	0,03	10	
17	lCv	210-223	6,5	4,6	4,3	11,8	20,8	21,8	19,2	9,4	50,4	28,8	Lu	4,79	-	10 YR 5/8	0,3	0,4	0,03	10	
18	lCv	232-240	4,3	5,2	3,7	7,4	16,3	21,7	22,6	9,5	53,8	29,9	Lu	4,86	-	10 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	9	
19	lCv	248-257	1,7	2,9	3,1	6,4	12,4	19,9	22,7	10,4	53,0	34,6	Tu3	4,88	-	10 YR 5/8	0,2	0,4	0,03	9	
20	lCv	257-266	6,0	6,2	3,9	6,2	16,3	21,5	20,7	10,2	52,3	31,3	Tu3	4,97	-	10 YR 5/8	0,2	0,4	0,03	9	
21	lCv	266-274	0,6	0,6	0,8	2,8	4,2	18,6	27,2	13,7	59,5	36,3	Tu3	5,10	-	10 YR 5/6	0,2	0,4	0,03	8	
22	lCv	284-292	0,0	0,2	0,6	2,3	3,0	14,0	22,6	13,8	50,4	46,5	Tu2	5,31	-	10 YR 5/6	0,2	0,4	0,04	7	
23	lCv	297-305	3,7	0,9	1,0	4,1	6,0	19,3	25,1	12,4	56,8	37,2	Tu3	5,37	-	10 YR 5/8	0,2	0,3	0,03	6	
24	lCv	305-312	13,9	11,6	4,1	9,9	25,5	16,5	19,0	9,8	45,2	29,3	Lt2	5,45	-	10 YR 6/6	0,1	0,2	0,02	7	
25	lCv	321-329	14,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5,42	-	10 YR 5/6	0,1	0,3	0,02	8	
26	lCv	347-359	28,2	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5,46	-	10 YR 4/6	0,1	0,2	0,02	7	
27	lCv	368-378	33,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5,43	-	10 YR 4/6	0,2	0,3	0,02	8	

Profil: 6938 EK 10

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T					
1	fBv	17-62	0,34	0,3	1,0	3,6	5,0	16,8	29,4	14,9	61,1	33,9	Tu3	3,68	-	10 YR 6/6	
2	lCv	62-95	4,03	2,2	1,3	7,2	10,6	24,3	27,0	10,6	62,0	27,4	Lu	4,25	-	10 YR 5/6	
3	lCv	95-158	0,24	1,5	2,1	3,1	6,6	16,0	28,5	13,5	58,1	35,3	Tu3	4,45	-	10 YR 6/6	
4	lCv	158-193	0,00	0,1	0,5	3,5	4,1	22,4	19,1	8,9	50,4	45,5	Tu2	4,68	-	7,5 YR 5/6	

Profil: 6938 EK 11

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T					
1	Ah (M)	0-18	1,97	0,3	1,7	13,3	15,4	42,3	6,9	10,1	59,2	25,4	Lu	3,91	-	10 YR 4/4	
2	M	18-42	21,94	2,2	2,1	16,8	21,0	21,6	23,5	11,5	56,6	22,4	Lu	5,34	-	10 YR 4/4	
3	M	42-113	1,46	3,1	2,7	14,1	19,9	26,8	25,6	9,7	62,0	18,1	Lu	5,70	-	10 YR 5/6	
4	M	113-135	0,46	2,2	2,2	13,6	18,0	30,3	23,8	7,3	61,4	20,6	Lu	5,63	-	10 YR 5/6	
5	lCv	135-170	3,48	3,5	3,9	14,1	21,5	24,7	24,5	5,8	55,0	23,5	Lu	5,59	-	10 YR 4/6	
6	lCv	170-180	6,20	23,4	7,5	6,8	37,7	12,7	15,2	8,6	36,6	25,7	Lt2	5,23	-	10 YR 4/4	

Profil: 6938 EK 12

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell- farbe
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T					
1	M	21-100	0,0	2,6	1,7	16,2	20,5	24,1	24,4	11,0	59,5	20,0	Lu	4,86	-	10 YR 4/6	

Profil: 6938 RK A

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T							
1	Ap (M)	10-20	8,7	5,0	9,5	18,4	32,9	21,0	15,1	6,3	42,3	24,8	Ls2	7,3	13,5	1,8	3,1	0,2	8
2	M1	35-45	21,6	6,7	9,2	15,6	31,5	23,0	15,2	6,9	45,1	23,4	Ls2	7,6	14,2	0,8	1,4	0,1	6
3	M1	45-60	4,1	4,4	8,4	17,9	30,6	21,4	16,9	7,3	45,6	23,8	Ls2	7,6	11,6	0,8	1,4	0,2	5
4	M1	60-80	2,1	4,2	6,3	15,2	25,7	23,4	16,8	7,6	47,8	26,5	Lt2	7,6	11,2	0,8	1,3	0,2	5
5	M2	85-100	3,7	3,7	4,8	10,3	18,8	21,7	18,0	7,7	47,3	33,8	Lt2	7,6	9,2	0,5	0,9	0,2	3
6	M3	107-120	7,2	2,4	6,0	21,8	30,2	22,9	19,2	10,2	52,4	17,4	Lu	7,6	14,0	0,6	1,0	0,1	4
7	M3	120-127	10,1	4,3	8,6	21,0	33,9	19,2	14,7	6,5	40,5	25,6	Lt2	7,6	19,8	0,2	0,3	0,1	2
8	lCv	135-160	34,3	18,8	11,5	11,1	41,4	18,2	12,0	6,2	36,3	22,2	Ls3	7,8	25,2	0,5	0,8	0,2	3
9	lCv	170-180	0,1	1,8	27,0	36,5	65,3	12,3	7,9	2,6	22,8	11,9	S13	7,9	55,9	0,1	0,2	0,2	1
10	lCv	185-190	0,1	2,9	4,7	30,4	37,9	22,6	13,0	5,3	40,9	21,2	Ls2	7,8	9,6	0,1	0,2	0,1	1
11	lCv	195-210	0,0	1,6	57,2	29,9	88,6	3,1	1,6	1,7	6,4	4,9	Ss	7,9	81,1	0,1	0,2	0,2	1

Profil: 6938 RK B

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	C %	org. S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T								
1	Ap (M)	0-25	6,9	6,7	8,1	15,6	30,4	20,7	17,5	7,7	45,9	23,7	Ls2	7,4	8,2	1,3	2,3	0,2	6	
2	M1	25-35	13,1	11,8	11,2	12,1	35,1	19,6	17,3	6,5	43,4	21,5	Ls2	7,8	13,6	0,8	1,3	0,1	6	
3	M1	35-60	16,5	11,0	10,1	11,4	32,5	23,5	17,1	6,3	46,9	20,6	Ls2	7,8	39,0	0,5	0,9	0,1	5	
4	M2	75-90	3,5	11,8	12,9	19,0	43,8	19,6	13,9	5,9	39,4	16,8	Sl4	7,8	3,4	0,4	0,6	0,1	4	
5	M2	100-115	4,9	9,6	10,6	14,2	34,4	23,1	18,2	6,4	47,7	18,0	Ls2	7,8	10,3	0,4	0,6	0,1	6	
6	M3	120-130	30,3	12,7	12,6	14,5	39,9	18,5	14,7	6,8	40,0	20,1	Ls2	7,8	23,4	0,5	0,9	0,1	7	
7	M3	130-160	14,1	11,1	9,6	17,6	38,2	17,8	15,0	7,9	40,6	21,1	Ls2	7,7	18,9	0,6	1,0	0,1	8	
8	M4	160-172	5,5	10,7	10,8	23,7	45,1	17,4	11,4	4,6	33,4	21,5	Ls3	7,8	7,3	0,4	0,7	0,1	5	
9	lCv	172-203	28,9	17,4	8,6	0,3	26,2	14,8	11,7	7,5	34,1	39,7	Lt3	7,6	1,6	0,3	0,5	0,1	3	

Profil: 6938 RK C

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T								
1	Ap (M)	0-25	11,2	5,1	7,6	16,0	28,7	19,9	17,9	8,2	46,1	25,3	Lt2	7,3	7,2	1,3	2,3	0,2	7	
2	M1	25-50	4,2	5,6	7,4	17,1	30,0	21,3	15,9	8,1	45,2	24,8	Ls2	7,7	9,7	1,4	2,3	0,2	7	
3	M1	50-75	6,2	6,2	8,1	18,5	32,8	18,7	16,6	7,5	42,8	24,5	Ls2	7,8	12,6	1,3	2,3	0,1	10	
4	M1	75-100	6,1	5,0	6,8	15,0	26,8	23,6	17,0	7,6	48,2	24,9	Ls2	7,8	12,6	0,7	1,2	0,1	9	
5	M1	100-125	0,5	3,6	3,1	8,4	15,0	24,7	23,6	9,2	57,4	27,5	Lu	7,8	16,6	0,5	0,9	0,1	5	
6	M1	125-150	1,2	4,7	7,7	11,7	24,0	21,5	19,1	8,9	49,4	26,5	Lt2	7,8	13,6	0,6	1,0	0,1	9	
7	aM2	150-180	3,1	6,2	7,6	14,5	28,4	22,1	18,1	8,1	48,3	23,3	Ls2	7,8	26,9	0,2	0,4	0,1	4	
8	aM2	180-212	4,6	6,5	6,8	16,1	29,4	22,4	17,0	7,5	46,8	23,8	Ls2	7,8	22,6	0,3	0,6	0,1	6	
9	aM2	212-222	2,6	2,9	4,6	16,9	24,4	22,0	16,9	9,1	48,1	27,6	Lt2	7,7	3,1	0,4	0,7	0,1	6	
10	fAh	230-238	9,6	3,8	6,6	16,8	27,2	21,5	16,6	9,3	47,4	25,5	Lt2	7,8	11,8	0,5	0,8	0,1	8	
11	aM3	238-248	1,1	2,6	4,5	19,0	26,1	25,5	17,5	7,2	50,2	23,7	Lu	7,7	4,0	0,3	0,6	0,1	6	
12	aM3	248-280	3,3	3,6	3,2	17,6	24,3	25,2	15,9	6,8	47,9	27,8	Lt2	7,6	1,3	0,2	0,4	0,0	6	
13	aM4	280-327	2,5	2,1	3,8	20,7	26,5	20,9	14,0	5,9	40,7	32,8	Lt2	7,5	0,1	0,2	0,3	0,0	9	
14	aM3	327-350	32,9	12,7	10,5	15,2	38,4	9,6	8,4	5,4	23,5	38,1	Lts	7,4	0,3	0,2	0,3	0,0	7	
15	aM3	350-389	7,6	2,6	4,0	18,3	24,8	26,7	16,3	6,5	49,6	25,6	Lt2	7,7	8,4	0,1	0,2	0,0	5	
16	aM3	389-458	38,4	17,3	23,8	15,7	56,8	13,9	9,6	4,3	27,8	15,4	Sl4	7,9	39,6	0,1	0,2	0,1	2	

Profil: 6938 RK D

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %									Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T							
1	Ah (M)	0-5	0,3	2,2	4,8	11,9	18,9	29,8	21,6	9,8	61,2	19,9	Lu	6,9	2,0	5,4	9,3	0,6	10
2	aM	5-18	2,0	1,3	2,8	8,3	12,5	17,8	20,3	8,3	46,3	41,2	Lt3	7,0	1,0	0,9	1,6	0,1	9
3	aM	18-50	1,7	3,8	10,1	24,6	38,5	25,1	17,3	7,4	49,8	11,7	Slu	7,1	4,4	2,2	3,9	0,2	12
4	aM	50-80	0,0	0,3	2,1	18,9	21,2	33,8	20,4	8,8	63,0	15,8	Uls	7,3	1,9	1,1	1,8	0,1	11
5	aM	80-90	70,1	8,5	6,1	13,6	28,2	22,5	21,1	12,4	56,1	15,7	Uls	7,2	4,6	1,3	2,2	0,1	9
6	Gr	100-135	0,0	0,5	0,8	6,4	7,6	26,3	31,2	13,4	70,9	21,4	Ut4	n.b.	0,1	1,4	2,4	0,2	8
7	Go	150-195	1,8	0,4	0,8	5,1	6,3	27,6	25,6	9,1	62,3	31,5	Tu3	7,6	2,7	0,5	0,8	0,1	8
8	Go	200-224	2,3	2,2	4,5	16,3	23,0	29,2	18,4	6,4	54,0	23,0	Lu	7,7	9,2	0,3	0,5	0,0	6
9	Go	224-265	34,8	8,1	6,9	19,9	34,9	24,9	14,9	5,6	45,5	19,6	Ls2	7,8	18,7	0,4	0,6	0,1	6
10	Go	265-302	20,0	12,0	8,6	20,8	41,4	22,4	13,3	5,0	40,8	17,8	Ls2	7,8	27,1	0,3	0,5	0,0	6
11	Gr	302-315	1,8	3,1	7,1	28,2	38,4	23,2	11,9	4,8	39,9	21,7	Ls3	7,7	23,9	0,9	1,6	0,1	9
12	Go	315-324	0,0	1,2	17,1	56,0	74,2	10,4	3,9	2,6	16,9	8,9	Sl3	7,8	33,3	0,2	0,3	0,0	5
13	fAh	324-330	4,6	4,7	7,0	28,4	40,1	21,5	12,1	7,2	40,8	19,1	Ls2	7,5	10,8	1,4	2,3	0,1	13
14	Gr	330-360	0,0	0,5	1,0	15,1	16,6	30,5	19,8	9,8	60,1	23,3	Lu	7,4	3,8	1,1	1,8	0,1	11
15	Gr	360-378	1,0	9,6	12,0	33,9	55,5	15,7	10,5	4,0	30,2	14,3	Sl4	7,6	17,7	0,6	1,0	0,1	11
16	Gr	378-400	0,0	0,4	4,3	33,7	38,4	26,6	12,6	5,2	44,4	17,2	Ls2	7,7	11,7	0,7	1,2	0,1	9
17	lC	410-436	63,2	60,0	14,5	9,0	83,4	5,8	3,9	2,3	11,9	4,6	Su2	n.b.	5,6	0,2	0,3	0,0	8

Daten der Refraktionsseismik

Seismikprofil Hw - 1

Startpunkt: R: 4499914 H: 5430136

Geophonabstand: 3 Meter

Geophon-Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t (Sp = -9m)	20,39	23,57	27,81	32,05	33,74	36,71	39,89	42,64	44,13	46,46	48,58	49,00
t (Sp = -3m)	10,34	14,62	18,78	23,53	26,51	29,72	33,18	36,03	37,46	39,36	42,22	43,52
t (Sp = 16,5m)	28,29	27,82	24,49	20,2	14,97	6,05	5,1	14,62	19,25	23,53	27,82	31,15
t (Sp = 36m)	42,81	41,36	38,89	38,00	34,63	32,70	31,26	28,85	24,04	18,75	14,42	10,09
t (Sp = 42m)	44,73	44,25	43,77	42,33	38,96	37,51	34,95	32,70	31,15	29,24	24,52	19,25

t = Zeit des ersten Wellenausschlages am Geophon

Sp = Schusspunkt bezüglich Geophon 1 der Auslage

Seismikprofil Sf-1-2m

Startpunkt: R: 4499985 H: 5430135

Geophonabstand: 2 Meter

Überlappung: 2 Meter = 2 Geophone

Geophon-Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Seismikprofil Sf-1-2m; Auslage 1												
t (Sp = -2m)	2,04	8,19	14,33	20,05	21,96	25,99	28,6	32,13	35,88	38,59	42,09	45,06
t (Sp = 11m)	19,84	16,88	13,7	10,94	5,22	0,34	0,34	3,74	11,79	14,54	18,36	21,96
t (Sp = 24m)	36,8	35,95	35,1 3	3,62	30,86	28,53	25,35	23,87	21,33	16,45	10,31	5,22
Seismikprofil Sf-1-2m; Auslage 2												
t (Sp = -2m)	0,34	7,01	15,57	19,85	24,14	26,99	28,89	34,13	36,03	39,84	42,22	45,55
t (Sp = 11m)	24,88	20,07	15,73	11,40	7,07	1,78	0,82	4,19	9,96	14,77	17,66	20,07
t (Sp = 24m)	41,36	39,92	37,51	33,54	29,33	26,45	24,52	20,19	19,23	15,86	13,33	7,20
Seismikprofil Sf-1-2m; Auslage 3												
t (Sp = -2m)	2,87	9,60	14,42	16,82	20,67	23,08	26,93	32,70	36,07	39,92	42,81	44,73
t (Sp = 11m)	21,63	19,25	16,87	13,54	7,83	4,03	1,17	7,36	11,64	16,40	19,73	23,53
t (Sp = 24m)	47,49	45,09	41,24	38,00	32,58	30,17	24,4 0	22,47	17,66	8,04	7,07	2,26
Seismikprofil Sf-1-2m; Auslage 4												
t (Sp = -2m)	0,46	9,60	11,53	20,19	23,56	27,41	30,78	36,55	39,44	42,33	43,29	46,18
t (Sp = 11m)	26,39	24,01	19,25	13,54	7,83	1,65	2,12	7,83	13,54	19,25	24,49	27,82
t (Sp = 24m)	47,14	45,69	42,22	39,44	35,59	32,70	26,45	21,63	15,38	13,94	7,68	3,35
Seismikprofil Sf-1-2m; Auslage 5												
t (Sp = -2m)	15,12	20,59	26,38	31,20	35,38	37,31	42,14	46,00	51,79	53,41	56,94	57,59
t (Sp = 11m)	31,62	28,43	23,41	17,71	11,79	6,32	6,38	11,63	17,32	23,25	28,95	34,19
t (Sp = 24m)	59,61	56,96	56,43	50,88	47,96	45,05	42,03	38,19	32,55	26,42	20,76	14,61
Seismikprofil Sf-1-2m; Auslage 6												
t (Sp = -2m)	5,63	11,40	17,66	22,95	27,28	31,13	35,46	38,83	42,20	47,49	49,90	52,79
t (Sp = 11m)	30,17	24,40	20,07	14,29	8,52	3,22	2,26	7,55	12,85	18,62	23,92	27,77
t (Sp = 24m)	53,27	49,42	46,53	43,16	38,35	34,50	30,65	25,84	21,51	17,18	11,40	5,15
Seismikprofil Sf-1-2m; Auslage 7												
t (Sp = -2m)	5,93	11,64	17,35	22,58	26,87	29,24	32,58	35,91	40,66	43,04	46,37	48,28
t (Sp = 11m)	25,97	20,67	16,82	11,76	5,75	1,42	0,94	7,20	11,05	17,78	21,63	24,52
t (Sp = 24m)	47,33	44,12	41,27	39,36	34,00	30,20	27,34	24,49	21,63	16,4 0	10,21	6,40

t = Zeit des ersten Wellenausschlages am Geophon

Sp = Schusspunkt bezüglich Geophon 1 der jeweiligen Auslage

Seismikprofil Sf-1-3m

Startpunkt: R: 4499976 H: 5430130

Geophonabstand: 3 Meter

Überlappung: 3 Meter = 2 Geophone

Geophon-Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Seismikprofil Sf-1-3m; Auslage 1												
t (Sp = -10m)	22,04	24,98	29,78	35,52	41,43	45,66	48,37	50,35	52,11	54,34	57,64	58,57
t (Sp = -3m)	10,60	16,97	22,18	27,4 0	32,03	35,51	39,56	43,04	45,35	47,67	51,14	51,72
t (Sp = 16,5m)	35,56	32,4 0	26,61	22,40	15,03	5,02	5,02	12,92	20,82	27,66	32,4	36,62
t (Sp = 36m)	54,25	53,75	50,98	47,70	46,19	42,41	38,63	35,36	32,08	25,53	16,96	8,40
t (Sp = 43m)	63,27	62,68	60,33	60,33	59,75	57,40	56,22	52,11	49,18	46,24	39,20	33,91
Seismikprofil Sf-1-3m; Auslage 2												
t (Sp = -10m)	27,75	33,03	37,43	41,84	48,00	52,41	55,88	60,43	63,86	66,50	69,14	71,78
t (Sp = -3m)	8,25	17,05	25,86	32,91	39,07	46,12	52,28	54,04	56,69	59,33	60,21	62,85
t (Sp = 16,5m)	42,59	36,43	29,38	21,46	11,77	2,96	3,84	13,53	22,34	29,38	35,55	44,36
t (Sp = 36m)	64,74	60,33	56,81	53,29	51,53	47,12	46,24	37,43	30,39	25,99	18,06	10,13
t (Sp = 43m)	67,10	63,38	60,12	57,83	56,30	55,78	53,17	51,43	47,96	45,35	34,93	28,85
Seismikprofil Sf-1-3m; Auslage 3												
t (Sp = -10m)	29,09	34,37	43,18	47,29	48,47	49,05	50,81	51,99	53,75	57,27	57,86	59,62
t (Sp = -3m)	12,19	19,82	25,10	32,15	38,02	48,59	52,11	55,05	56,22	57,99	60,33	61,51
t (Sp = 16,5m)	44,77	33,19	24,50	16,39	9,44	0,75	3,65	10,02	18,71	29,13	36,08	43,61
t (Sp = 36m)	63,73	60,92	57,86	55,51	51,99	47,88	44,94	37,9 0	32,61	24,98	17,35	8,54
t (Sp = 43m)	62,56	61,97	59,03	58,45	57,27	56,10	53,16	50,81	45,53	39,66	33,79	26,74
Seismikprofil Sf-1-3m; Auslage 4												
t (Sp = -10m)	27,33	34,53	39,93	45,53	49,05	51,99	53,75	54,92	55,51	56,69	57,86	58,45
t (Sp = -3m)	12,06	18,52	24,39	30,85	37,31	42,01	49,05	50,23	52,58	54,34	54,92	56,10
t (Sp = 36m)	57,64	55,90	53,01	50,69	47,96	45,53	42,00	34,47	29,26	22,11	16,52	10,15
t (Sp = 43m)	54,16	53,01	51,72	51,14	48,95	45,48	42,46	40,14	31,58	26,19	19,37	14,78

t = Zeit des ersten Wellenausschlages am Geophon

Sp = Schusspunkt bezüglich Geophon 1 der jeweiligen Auslage

Seismikprofil Sf-2-2m

Startpunkt: R: 4499968 H: 5430148

Geophonabstand: 2 Meter

Geophon-Nr.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t (Sp = -10m)	11,29	15,97	21,38	24,83	28,23	30,22	32,71	37,63	40,58	41,08	42,06	43,54
t (Sp = -2m)	7,97	10,92	13,87	18,30	22,24	25,69	29,13	33,07	34,67	35,17	36,03	38,49
t (Sp = 11m)	25,20	23,23	19,78	16,83	11,90	3,53	3,53	10,92	17,32	19,29	24,7 0	27,66
t (Sp = 24m)	38,61	37,63	37,14	33,69	32,21	31,72	30,74	27,29	22,37	15,97	10,06	4,64
t (Sp = 32m)	40,58	39,60	37,19	36,19	35,70	33,70	31,71	30,72	30,22	27,29	26,31	23,74

t = Zeit des ersten Wellenausschlages am Geophon

Sp = Schusspunkt bezüglich Geophon 1 der jeweiligen Auslage

Radiokarbondatierungen

Probe	Labornr.	Material	¹⁴ C Jahre	1 Sigma	2 Sigma
6938 RK B/7	Erl – 7209	Holzkohle	5338 ± 55	4247 BC – 4047 BC	4327 BC – 4002 BC
6938 RK C/7	Erl – 7210	Holzkohle	2428 ± 49	757 BC – 406 BC	761 BC – 401 BC
6938 RK C/10	Erl – 7211	Holzkohle	4377 ± 53	3084 BC – 2914 BC	3310 BC – 2885 BC
6938 RK D/16	Erl – 7212	Holzkohle	2001 ± 53	49 BC – 70 AD	161 BC – 124 AD
6938 EK 11/3	Erl – 7213	Holzkohle	3338 ± 54	1685 BC – 1527 BC	1744 BC – 1498 BC

Kalibration nach: STUIVER et al. 1998.

OSL - Datierungen

Risø- Nr.	Probennr.	Tiefe (cm)	Alter, ka	Dosis, Gy	(n)	Dosisrate, Gy/ka	Wassergehalt (%)
045401	6938-Sg2/1osl	30	10,5 ± 0,8	24,8 ± 1,7	19	2,36 ± 0,09	36
045402	6938-Sg2/2osl	70	11,3 ± 0,9	27,4 ± 1,9	24	2,43 ± 0,09	31

Funde



Abbildung A-5: Hufeisen; Fundstelle: Auf Schwemmfächer, 5 cm Tiefe



Abbildung A-6: 1-Pfennig - Münze aus dem Jahr 1892 ($\varnothing = 1,75$ cm); Fundstelle: Auf Schwemmfächer, 3 cm Tiefe

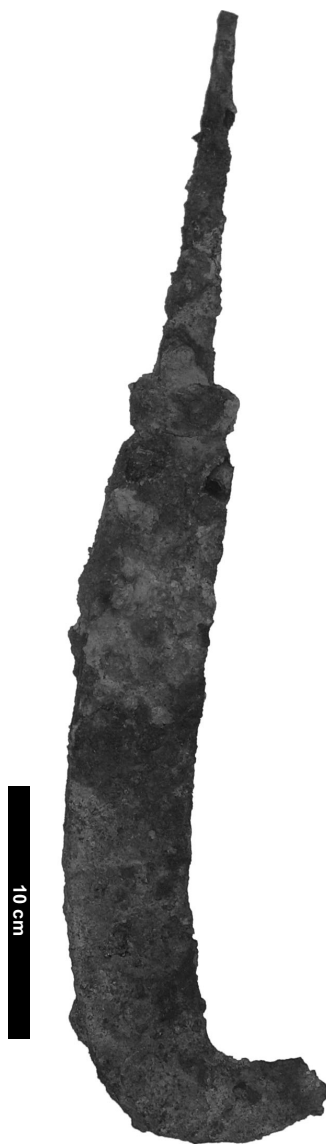
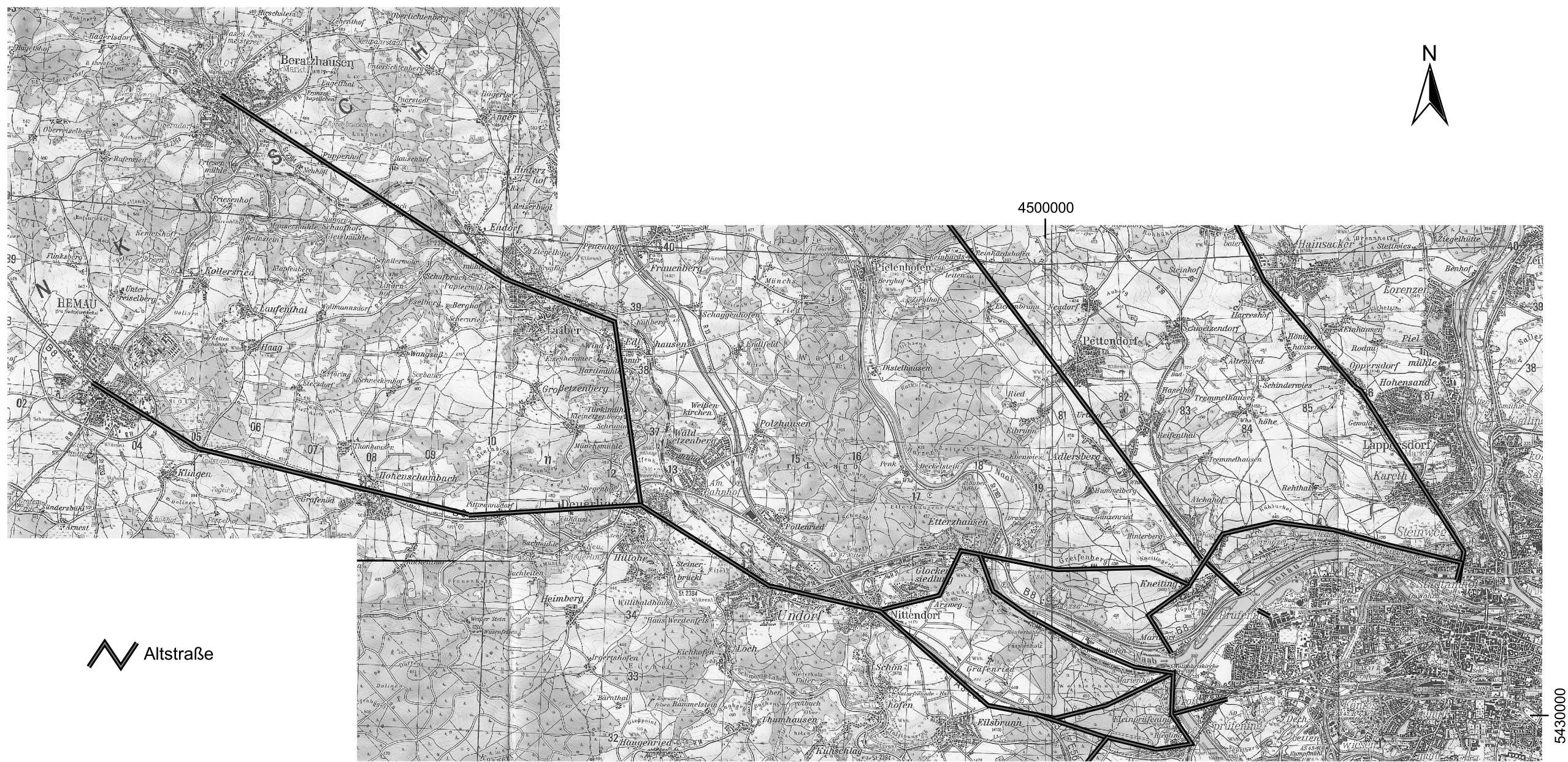


Abbildung A-7: Sichelmesser; Fundstelle: Auf Schwemmfächer, 30 cm Tiefe = Untergrenze von M1; nahe 6938 RK 8

Beilage 1

Ausgewählte, mittelalterlich genutzte Altstraßen, westlich von Regensburg



Altstraße

0 2 4 6 8 Kilometer

Quellen der Altstraßen:
AUER (1998, 1999), BAUER (1963),
DOLLACKER (1919), EMMERICH (1955),
HOFMANN (1963), KRÜGER (1974),
MANSKE (2003), RAUERS (1906),
SCHMID (1977), STARK (1978)

Kartengrundlage:
TK 50, Blätter Nr.:
L6936 Parsberg
L6938 Regensburg